UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTADO ACTUAL DEL SECTOR CEMENTO EN ESPAÑA. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA Y MERCADO DE CO_2 COMO ELEMENTO DE FINANCIACIÓN

Autor: José Reyes García

Tutor: D. Juan Ignacio López Ruiz

Leganés, julio de 2013

Agradecimientos

*A mis **padres**, por su esfuerzo, apoyo, dedicación y confianza todos estos años.*

*A mis **amigos** y **familiares**. Especialmente a mi tía Francisca y mi padrino Antonio por su cariño y ánimo.*

*A **Sylvia Fedele**.*

*A mi tutor, **D. Juan Ignacio López Ruíz**, por poner todo su empeño e interés en que este proyecto saliese adelante, y de la mejor manera posible.*

*A **France Telecom España**, por poder realizar unas prácticas laborales y enriquecer este proyecto con la visión adquirida.*

*A Holcim España, especialmente a **D. Alfonso Vélez Martínez**, por darme la oportunidad de visitar la planta de molienda de Yeles y complementar este proyecto con el debate y la conversación allí mantenida.*

*A la Universidad de Cádiz, especialmente a **D. José María Portela Núñez**, quién me enseñó a elaborar el primer Proyecto Fin de Carrera.*

*A mis **compañeros** de la Universidad Carlos III de Madrid.*

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

El sector del cemento en España pasa por uno de los peores momentos en su historia. Tras casi una década de crecimiento ligada al apogeo de la construcción y la obra pública, el sector se encuentra actualmente sumido en una grave crisis: el consumo de cemento continúa cayendo, la obra pública está prácticamente congelada, no hay salida en el mercado para más de un millón de viviendas… Además, todos estos factores han llevado a la destrucción de muchos puestos de trabajo y a la disminución del volumen de negocio en el sector.

Tras esta breve introducción, no se trata de realizar un proyecto sobre diseño o dimensionado de las instalaciones de una planta de producción cualquiera. A nuestro modo de ver, en la situación de coyuntura actual, el interés primario no está ahí. Por eso, la pretensión principal es focalizar en los aspectos que en estos años se han realizado de forma errónea, realizando una crítica constructiva y argumentando una estrategia válida para el futuro del sector.

Así pues, en el segundo capítulo, se analiza y se discute sobre la *Guía de las Mejores Técnicas Disponibles de fabricación de cemento en España*, concretamente en lo que respecta al apartado dedicado a los procesos. Es un documento de prestigio, pero existen aspectos muy importantes que no se tratan en el mismo. Tras el estudio, llegado el caso, se proponen soluciones y alternativas no tenidas en cuenta hasta el momento.

Tras esto, se desprende que la valorización energética es una de las alternativas con mejores perspectivas en cuanto a crecimiento y diferenciación en el sector para abordar su futuro. La estructura del capítulo se fundamenta en la estrategia para poder llevar a cabo la valorización de residuos de la mejor manera posible: disminuyendo las emisiones de agentes contaminantes, especialmente dióxido de carbono, y minimizando la dependencia energética.

Finalmente, de todo lo narrado, destaca un denominador común: hay que conseguir mejores ratios de eficiencia y estructurar acciones en torno a la sostenibilidad, todo ello bajo la puesta en marcha de una reingeniería de procesos. Sin embargo, en la crisis actual, es muy difícil llevar a cabo dichos cometidos. De este modo, en el siguiente capítulo se analiza el comercio de derechos de emisión de CO_2, concretamente su incidencia en el sector del cemento. Se obtendrán conclusiones sobre las oportunidades perdidas hasta el momento, así como la estrategia a seguir en años venideros. Se pretende discutir sobre su validez como elemento de financiación, así como identificar los aspectos positivos y negativos. Mencionando aspectos de financiación, es muy importante considerar el impacto de las renovables y del sector eléctrico en la industria del cemento, con especial énfasis en el déficit de tarifa.

Por tanto, se trata de desarrollar una estrategia de futuro para el sector, en este caso apoyada básicamente en la mejora continua, en la valorización energética y en el aprovechamiento del comercio de derechos de emisión para financiar los requerimientos tecnológicos necesarios.

ABSTRACT

The cement sector in Spain is going through one of the worst times in its history. After nearly a decade of growth linked to the height of the building trade, it is on crisis: cement consumption continues falling, civil engineering is virtually frozen, it is really difficult to sell more of a million houses ... Also, all these factors have led to the destruction of many jobs and the reduction of turnover in the sector.

After this brief, we have to say that it is not a project about design or sizing any production plant. In our view, in the current situation, this is not interesting. Therefore, the main aim is to focus on those issues that in recent years have been made in the wrong way, making a constructive criticism, and arguing the sector's future strategy.

Thus, in the second chapter, we analyzed and discussed about the *Best Available Techniques in cement manufacturing in Spain*, specifically the section about processes. It is a prestigious guide, a well-known document, but there are important things not covered in it. After the study, if necessary, we propose solutions and alternatives that are not consider in the document.

After this, energy recovery appears as one of the alternatives with better prospects for growth and differentiation in the sector. The structure of the chapter is based on the strategy to carry out the recovery of material in the best way possible: by reducing emissions of pollutants, especially carbon dioxide, and minimizing the energy dependence.

Finally, throughout the narrative, it is highlighted a common denominator: we must get better efficiency ratios and structure activities around sustainability, all under the implementation of re-engineering. However, in the current crisis, it is very difficult to carry out these tasks. Thus, in the following chapter we study the trade in CO_2 emission rights, particularly their impact on the cement sector. We focus on conclusions about the lost opportunities to date, and the strategy to follow in coming years. In addition, it is interesting to discuss about the benefits and damages that has this mechanism. It is important to consider the impact of renewable electricity in the cement industry, with special emphasis on the rate deficit.

Therefore, this project consists on generating a future strategy for the sector, in this case basically supported on a continuous improvement in energy recovery and the use of emissions trading to get the requirements.

Índice general

Índice de figuras

Índice de tablas

1.- Introducción.

1.- Introducción.

Actualmente el sector cementero español se encuentra sumido en una grave situación. Atrás quedan los años previos a la crisis económica, donde esta industria aprovechó al máximo el fuerte "tirón" de la construcción.

Era impensable prever un desplome tan drástico y rápido, que todavía se produce, como el que ha sufrido la producción y consumo de cemento en España. En su día se realizaron previsiones que alertaban, eso sí, de forma leve, que el consumo se estancaba de la mano de la construcción. No obstante, nadie esperaba la abrupta caída del negocio, llegando incluso a umbrales de producción de hace varias décadas. Todo esto ha acarreado el consiguiente desmantelamiento de plantas productoras y pérdidas de puesto de trabajo.

1.1.- Motivaciones.

En ese contexto de coyuntura del sector es donde comienza a fraguarse el interés y la motivación en la realización de este Proyecto Fin de Carrera.

Fue gracias al tutor de este trabajo académico, D. Juan Ignacio López Ruiz, quien me propuso llevar a cabo un estudio del sector, principalmente focalizando en la reducción de emisiones. En un primer momento, el hecho de carecer de conocimientos sobre este campo industrial también pasó a ser una motivación. Había tiempo y mucho que leer.

Actualmente apenas se habla del sector. Simplemente se suceden noticias que reafirman mes tres mes, año tras año, la caída de la producción y manifiestan previsiones nada alentadoras. Concretamente, en la universidad, no se ha detectado la publicación de proyectos que abarquen esta industria, si bien se han escrito algunos que tratan de la industria del cemento sólo para diseñar y dimensionar sus instalaciones típicas de producción.

Por otro lado, en todo proyecto industrial tiene relevancia la conservación del Medio Ambiente. En relación con esto entra en juego el comercio de derechos de emisión en el mercado del CO_2. En la universidad, se han desarrollado algunos proyectos que describen este nuevo mecanismo [1]. Así, teniendo en cuenta la falta de financiación y negocio de las cementeras, la motivación aparece en el estudio y obtención de conclusiones sobre las ventajas e inconvenientes de este mecanismo para el ámbito cementero.

Como ejemplo, cuando se aborda el capítulo dedicado a los procesos, fue muy grande la motivación de poder argumentar y criticar un documento de reconocido prestigio, con los argumentos propios de un Ingeniero Industrial recién titulado.

Es resumen, a medida que gracias a la bibliografía se fue profundizando en el estado de esta industria, se detectó que esta actividad productiva estaba un tanto olvidada. Existe una cierta dejadez basada en el simple y falso pretexto de que ya todo está hecho, que el problema radica únicamente en el hundimiento del sector de la construcción y, que

España ya ha innovado de forma suficiente en busca de otras soluciones. Esta última idea comprende la motivación principal, pues se pretende argumentar en los siguientes capítulos que queda todavía mucho por hacer, y que siempre hay que "exprimir el limón" abriendo nuevas perspectivas y horizontes.

Finalmente, el interés suscitado en la realización de este estudio desembocó en la visita a la planta de productora de clínker que la empresa *Holcim España* posee en Yeles, donde se tuvo la posibilidad de debatir y discutir sobre muchos aspectos tratados en el proyecto.

1.2.- Objetivos y alcance.

El objetivo principal no tiene sentido propio sin atender a la motivación narrada anteriormente.

En todos los capítulos, el denominador común será el análisis y la crítica, en busca de soluciones de mejora y que aporten un carácter innovador. Conforme a esto, se pretende trazar una estrategia de actuación en el sector del cemento para paliar los efectos de la situación actual.

Para ello, se discute sobre ciertos aspectos recomendados en la *Guía de Mejores Técnicas Disponibles de fabricación de cemento en España* [2]. A continuación, la valorización energética de residuos se postula como la mejor perspectiva de futuro con respecto al abastecimiento de material combustible, y se dan directrices sobre diseño e implementación de la estrategia de valorización.

Finalmente, se enlaza con el comercio de derechos de emisión, a modo de elemento financiador del sector. Se analizan las oportunidades perdidas desde la implantación de este mecanismo y se obtienen conclusiones sobre en qué dirección debe encaminarse la industria, además de introducir y reflexionar sobre otros temas, como por ejemplo el impacto de las energías renovables y del déficit tarifario en el coste del producto final.

Concretamente los objetivos y el alcance de este Proyecto Fin de Carrera se engloban en los dos siguientes puntos:

- Realizar una crítica constructiva de los documentos estudiados con el objetivo de la mejora de los procesos y del desarrollo del sector. Además de la crítica, se hace uso de la reflexión en determinados momentos para dotar de mayor claridad a lo expresado.
- Trazar una primera línea de actuación para evitar la dependencia de otros sectores. Esto es, si todo se resumiese en que la oportunidad llegará con el auge de otro sector intensivo en consumo de cemento, este proyecto no tendría sentido. El objetivo se centra en introducir y hacer hincapié en la sostenibilidad para que la industria cementera tenga perspectivas de futuro y que además estas sean estables en el tiempo.

1.3.- Cemento.

1.3.1.- Definición.

Los productos que amasados con el agua, fraguan y endurecen, se denominan conglomerantes hidráulicos. El fraguado y endurecimiento de este tipo de conglomerantes, en general, se realiza en aire o en agua, pues los compuestos que se derivan de la hidratación, son estables. Los conglomerantes hidráulicos engloban en buena medida a los cementos, siendo estos los más importantes.

1.3.2.- Constituyentes de los cementos.

Dosificando y molturando ciertos constituyentes se obtienen distintos tipos de cemento. Algunos de los componentes más importantes se mencionan a continuación.

El componente principal es el clínker. Se obtiene tras combinar casi totalmente calizas y arcillas. Para ello, es preciso calcinar hasta fusión mezclas muy ligadas de los anteriores recursos. Se distingue el clínker de cemento portland y el clínker de cemento de aluminato de calcio. En el último, lo que se pretende conseguir es elevar el contenido mínimo de alúmina.

Además, otros componentes principales frecuentemente utilizados son las puzolanas, las escorias procedentes de altos hornos, las cenizas volantes, la caliza y el humo de sílice.

Como constituyentes secundarios, destaca el sulfato de calcio, añadido para controlar el fraguado, así como otro tipo de aditivos, los cuales deben ser dosificados en un nivel no superior al 1% en masa.

1.4.- Industria del sector cementero en España. Evolución y antecedentes.

1.4.1.- De la Revolución Industrial a 1950.

En España, los inicios de la industria cementera se remontan a finales del siglo XIX. Años antes a la Primera Guerra Mundial se sucedía un período de crecimiento económico. En ese momento, la industria cementera fue impulsada por el aumento de la demanda eléctrica y de la construcción de viviendas. Unido a todo esto, comenzó el impulso a la obra pública, que junto al auge de actividades metalúrgicas e hidroeléctricas, hizo que entre 1923 y 1930 se duplicase la capacidad de producción.

Debido a la Crisis del 29, disminuyó considerablemente la producción industrial, la cual se recuperó a finales de 1935. No obstante en España, esta recuperación se produjo justo cuando estalló la Guerra Civil en 1936, hecho que volvió a retrasar el crecimiento de la producción.

Tras el final de la guerra, la prioridad se situó en la reconstrucción de lo destruido y dañado. Es entonces cuando el consumo de cemento volvió a crecer, pero ya en el período cercano a 1950.

1.4.2.- De 1950 a 1990.

El principal aspecto a destacar durante los años 50 es la migración del campo a la ciudad. Este hecho, mayormente propiciado por el crecimiento industrial, favoreció notablemente a la construcción. Como era de esperar, la incidencia en el sector del cemento también estuvo muy ligada y fue positiva. Esta dinámica terminaría a finales de la década de los sesenta, pero hasta el momento el sector siguió creciendo, llegando incluso a multiplicarse el consumo por cuatro.

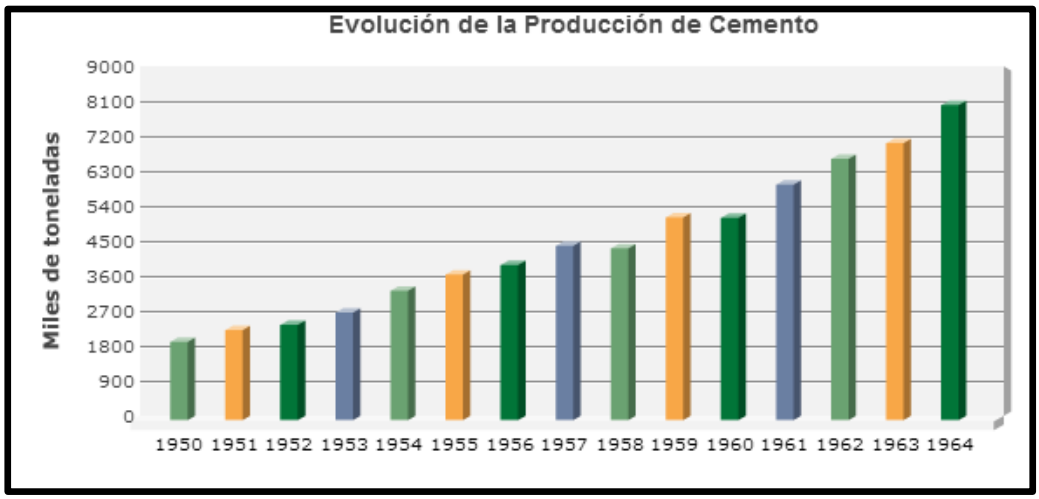

Figura 1: Evolución de la producción de cemento. Período 1950-1964. Oficemen.

La crisis energética de los ochenta propició que se volviese a utilizar el carbón como combustible principal. La industria cementera española acudió al mercado exterior, pues la demanda interna no era suficiente. De este modo, se consiguió en 1983 llegar a un nivel máximo en exportaciones, siendo el primer país exportador en Europa y estando sólo por detrás de Japón.

Se llega al final de esta etapa destacando el colapso de los mercados receptores de cemento. Además, un factor importante a tener en cuenta fue la depreciación de la peseta respecto al dólar.

1.4.3.- De 1990 a nuestros días.

Los máximos en consumo de cemento alcanzados en la década de los 90 vinieron de la mano de las obras realizadas para la Expo de Sevilla y los JJ.OO. de Barcelona, ambos acontecimientos acaecidos en 1992.

Tras esto, España volvió a entrar en crisis, la cual lastró al sector de la mano del desplome del consumo interno.

A partir del año 2000, el sector del cemento experimenta un cambio radical. Dicho cambio se justifica básicamente por los niveles de consumo alcanzados: se pasó de los 25 millones de toneladas en 1996 a 56 millones de toneladas en 2007. Con estos datos, España lideró el consumo de cemento en Europa y se posicionó en quinto lugar en el mundo. Generalmente, en este período, el consumo fue superior a 1.300 kg por habitante y año. Este hecho provocó, que al contrario de lo expuesto en los años ochenta, las exportaciones disminuyesen notablemente, mayormente propiciadas por el crecimiento de la demanda interior de cemento.

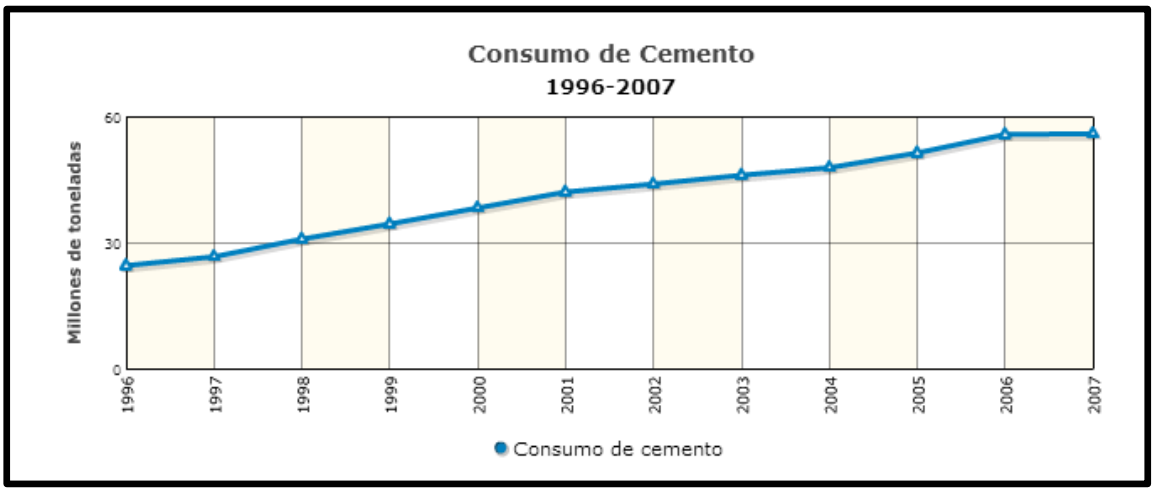

Figura 2: Evolución del consumo de cemento. Período 1996-2007. Oficemen

Actualmente, el sector cementero se encuentra ante una grave situación. La producción continúa disminuyendo año tras año, y el cierre de plantas y la destrucción de puestos de trabajo han sido muy considerables. Esta crisis que sufre el sector deriva del estancamiento y desplome de la actividad en el sector de la construcción, principalmente de vivienda residencial. También, estos efectos se palpan en las administraciones públicas, las cuales han congelado la inmensa mayoría de proyectos de licitación de infraestructuras.

1.5.- El sector del cemento en la coyuntura económica actual.

Se dedica este apartado para exponer algunos datos significativos del sector, desde que comenzó la crisis hasta el momento. En comparación con los datos de la última década, en la actualidad se dibuja un panorama desolador en el sector del cemento español.

Atendiendo a las previsiones de la patronal cementera (Oficemen) para el año 2008, entre líneas se intuye que se avecina un estancamiento de la producción. Pese a esto, dichas previsiones no tuvieron mucho que ver con lo que finalmente ocurrió, pues en ese momento se pensó que la obra pública sería capaz de compensar el descenso en la

construcción de obra residencial. Este hecho se manifiesta a través de la siguiente cita, extraída del informe anual para el año 2008:

"La oferta pública en construcción, medida a través de las cifras de licitación, también muestra síntomas de agotamiento. Las cifras que se están poniendo de manifiesto a lo largo del presente año no recuperan, de momento, el descenso acaecido en 2007, situándose en niveles semejantes a los del pasado año, si bien, la licitación en obra civil está teniendo un mejor comportamiento que la destinada a edificación. En cualquier caso, los volúmenes de licitación de los últimos dos o tres años son suficientemente amplios como para que la actividad constructora en este segmento aún tenga un cierto margen de crecimiento."[3]

Tras este "reconocimiento encubierto" de que el consumo de cemento comienza a caer, las previsiones que hace la patronal siguen siendo buenas, acudiendo a la construcción de infraestructuras para paliar el descenso en vivienda residencial.

De este modo, analizando las perspectivas de la patronal para el año posterior (2009), se pone de manifiesto cómo de erróneas y para nada realistas fueron esas previsiones del año 2008:

"El elevado déficit público al que van a llegar las cuentas de las administraciones públicas, debido tanto a la disminución de los ingresos como al aumento de los gastos, y el que se prevé para el próximo año no permiten vislumbrar, de momento, un horizonte en donde la obra pública compense de forma importante el descenso de la actividad constructora por la caída de la edificación."[4]

Es decir, aparece el problema del déficit público. Es entonces cuando el sector ya no cree en inversión en infraestructura y teme lo peor. Ya nada, salvo las exportaciones, servirá para compensar el hueco que había dejado la construcción de viviendas. Es en este momento, cuando el sector reconoce que va a comenzar a caer, progresivamente, durante los próximos meses.

Lo nefasto es que no han sido meses, sino años. Esto se ilustra a continuación con los datos de algunos indicadores significativos en el sector cementero, pertenecientes al año 2013.

1.5.1.- Licitación oficial de obra pública. Visados de edificación.

Como se ha descrito anteriormente, el déficit y la deuda del estado hacen que la licitación de obra por parte de las administraciones esté prácticamente congelada. Además, con más de un millón de viviendas vacías, un 27% de tasa de desempleo y la dificultad de acceso al crédito, hace que la inversión en construcción de viviendas residencial sea casi inexistente.

En relación, se muestran los datos de licitación de obra pública y visados de edificación, pertenecientes al mes de abril de 2013:

Licitación oficial: ABRIL 2013					
		Datos Acumulados		Datos Año Móvil	
(Miles de euros)		2013	2012	2013	2012
Licitación por tipo de obra	En Edificación	620.421	658.886	2.142.693	3.061.417
	En Obra Civil	1.516.157	1.657.841	5.055.097	8.305.567
Licitación por organismo	Admón. Central	963.015	645.060	2.966.945	5.653.185
	Admón. Autonómica	540.352	896.176	1.841.357	3.000.862
	Admón. Local	633.212	775.491	2.389.489	2.712.936
Total Licitación Oficial		2.136.579	2.316.727	7.197.792	11.366.984

Figura 3: Licitación oficial de obra. Abril 2013. Oficemen. SEOPAN.

TASA DE VARIACIÓN NOMINAL ABRIL 2013	
AÑO ACUMULADO	
En Edificación	-5,8%
En Obra Civil	-8,5%
Admón. Central	49,3%
Admón. Autonómica	-39,7%
Admón. Local	-18,3%
Total	**-7,8%**
AÑO MOVIL	
En Edificación	-30,0%
En Obra Civil	-39,1%
Admón. Central	-47,5%
Admón. Autonómica	-38,6%
Admón. Local	-11,9%
Total	**-36,7%**

Figura 4: Tasa de variación nominal. Abril 2013. Oficemen. SEOPAN

Visados de edificación. Superficie m^2 obra nueva		
Marzo de 2013	Tasa variación	
	Acumulada	Año móvil
Edificación vivienda	-27,7%	-40,1%
Edificación otros usos	-18,5%	-28,2%
Superficie total	-25,0%	-36,6%

Figura 5: Visados de edificación. Marzo 2013. Oficemen. SEOPAN.

Se observa que los visados en edificación continúan disminuyendo y además lo hacen en proporciones considerables. Por otro lado, la cuantía destinada a licitación de obras ha disminuido con respecto a 2012, siendo estas cifras muy inferiores a las de los primeros años de la crisis, y sobre todo, a la de los años anteriores al a crisis, como por ejemplo 2004 y 2005.

1.5.2.- Consumo aparente de cemento. Producción de cemento y clínker gris.

El consumo aparente de cemento se situó en 1,03 millones de toneladas en el mes de mayo de 2013. Esto implica un descenso interanual del 20,4%. En los últimos doce meses, el consumo ha sido de 12,01 millones de toneladas, es decir, un 30,3% menos de lo consumido un año antes.

Por otro lado, en mayo de 2013 la producción de clínker gris alcanzó 1,39 millones de toneladas. De este modo, se produjo un descenso del 9,4% respecto al mes de mayo de 2012.

Además, en los últimos doce meses la producción de clínker gris ha sido de 14,52 millones de toneladas, un 13,9% menos que en el periodo anterior. No obstante, la mayor caída la experimenta la producción de cemento gris, concretamente de 13,72 millones de toneladas, alcanzando así un descenso del 26,8%.

1.5.3.- Exportaciones e importaciones.

En relación con estos datos, como se intuye de la descripción de otros períodos históricos del sector, las exportaciones comprenden el único dato positivo en volumen de negocio. En los últimos doce meses han aumentado un 28,6%, alcanzando la cifra de 6,13 millones de toneladas.

Con respecto a las importaciones, nótese que han descendido un 46,7% en los últimos doce meses, situándose en la cifra de 0,37 millones de toneladas. Cabe destacar de esa cifra que 0,32 millones de toneladas corresponden a importaciones de cemento, mientras que el 0,05 restante a las importaciones de clínker.

2.- Mejores Técnicas Disponibles en la fabricación de cemento. Discusiones.

2.1.- Introducción.

A la hora de estudiar el funcionamiento de una industria cementera, aparecen dos ámbitos diferenciados. El primero trata sobre los procesos técnicos y de organización del conjunto como sistema productivo. El segundo, está relacionado con las técnicas orientadas única y exclusivamente a la reducción de emisiones y contaminantes.

Aunque durante la redacción de este proyecto se aborden de forma separada, dichos campos presentan sinergias, debido a que los defectos del primero son las consecuencias del segundo. Es común encontrar el origen de los defectos en el sistema productivo, expresándose los efectos indeseados con la aparición de emisiones de agentes contaminantes.

2.1.1.- Objetivos del Capítulo.

En este capítulo se discutirá sobre el proceso general de fabricación de cemento. Para ello, se ha elegido la *"Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de fabricación de cemento"* [5], publicado por el Ministerio de Medioambiente (actualmente Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

El interés se encuadra en realizar un comentario a dichas técnicas. Especialmente, se pretende abordar aquellos aspectos que no se tratan en el documento, y que bajo nuestro punto de vista son muy importantes.

Además de la discusión, otro objetivo del capítulo se sitúa en realizar recomendaciones y, llegado el caso, proponer alguna solución y/o mejora justificada. Para formular soluciones, se huirá en todo momento de aquellas que incluyan simplemente una mejora técnica, careciendo de algún componente innovador y de valor añadido para el proceso general.

Todos estos aspectos, además del estudio de bibliografía, estarán apoyados en la visita a la fábrica cementera y complementada con la visión obtenida a partir de la misma.

Se trata de un ejercicio enriquecedor, afrontando el reto de comentar y discutir documentos de reconocido prestigio desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial.

2.2.- Tipos de procesos para la fabricación del cemento. Agua y localización.

"La química básica del proceso de la fabricación del cemento empieza con la descomposición del carbonato cálcico ($CaCO_3$), a unos 900ºC dando óxido cálcico (CaO, cal) y liberando dióxido de carbono gaseoso (CO_2); este proceso se conoce como calcinación o descarbonatación." [5]

Existen cuatro tipos de procesos para la fabricación de cemento. Son los siguientes:

- Proceso seco.
- Proceso semiseco.
- Proceso semihúmedo.

- Proceso húmedo.

"En el proceso seco, las materias primas son trituradas y secadas para formar el crudo o harina, que tiene la forma de un polvo triturado. El crudo se alimenta a un horno con precalentador o con precalcinador, o más raramente, a un horno de vía seca." [5]

Actualmente, el proceso seco resulta ser el más empleado de los cuatro anteriores, al menos en Europa y concretamente en nuestro país.

"En el proceso semihúmedo, la pasta de crudo y agua, es escurrida en filtros prensa. Las tortas del filtro son extruidas en forma de gránulos que alimentan bien a un precalentador de parrilla, o bien directamente a un secador de tortas de filtrado para la producción de crudo" [5]

El proceso seco se antoja menos complejo. La razón principal se sitúa en la importancia del *agua* en el proceso productivo. Como se observa, en los procesos húmedos, el agua está más presente a la hora de formar la pasta de crudo.

Cuando en una instalación industrial se emplea agua como elemento propio del proceso, hay que prestar atención a las instalaciones por donde circula la misma, tanto en el diseño como en el posterior mantenimiento. Además, otro aspecto importante es el estudio de los sistemas de tratamiento que hagan posible la recuperación del agua y la reducción del impacto ambiental.

Por otro lado, dispositivos como el secador de la instalación adquieren una mayor capacidad de uso, por lo que su dimensionamiento necesariamente ha de ser más robusto.

Por estos motivos, en los procesos húmedos, se puede afirmar que los costes de operación de la instalación aumentan, debido a la mayor complejidad del sistema productivo.

No obstante, el sistema por vía seca no es garantía de mayor eficiencia y ahorro en todas las plantas. Existen fábricas donde la materia prima húmeda es más accesible, viéndose favorecido la puesta en marcha de este tipo de procesos en favor de reducción de costes esenciales como la extracción, transporte y obtención de materia prima.

Tras destacar el problema del agua, el cual se detalla en el Anexo I, cabe introducir el problema de la localización. Contraponiendo ambos procesos, seco y húmedo, resulta interesante reconocer y evitar el error de implementar el proceso de vía seca exclusivamente por que sea el más utilizado y menos complejo, sin tener en cuenta la localización de la planta y su acceso a las diversas materias primas que satisfacen la producción. Este aspecto se puso de manifiesto en la visita académica a la fábrica, donde se pudo apreciar la diferencia entre una planta de interior y otra cercana a la costa. En la segunda, la integración vertical adquiere mayor relevancia.

2.3.- Subprocesos.

Una vez seleccionado y propuesto para diseño uno de los cuatro procesos anteriores, aparecen unos subprocesos comunes a todos ellos, los cuales se enumeran a continuación:

- Obtención de materias primas.
- Almacenamiento y preparación de materias primas.
- Almacenamiento y preparación de combustibles.
- Cocción de las materias primas para la obtención de clínker.
- Molienda del clínker para obtener cemento.
- Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.

A partir de este momento, comienza el análisis y discusión de cada uno de ellos.

2.3.1.- Obtención de materias primas.

"En la naturaleza, existen depósitos calcáreos tales como caliza, marga o creta, que proporcionan la fuente del carbonato cálcico. La sílice, el óxido de hierro y la alúmina se encuentran en diversas menas y minerales, tales como arena, pizarra, arcilla y mena de hierro. También se pueden emplear subproductos y residuos como sustitutivos parciales de las materias primas naturales." [5]

Existen dos formas de obtención de materia prima. La primera es por medio de la extracción en canteras y minas a cielo abierto de materias como caliza, marga o creta.

La segunda, empleando materiales primarios sustitutivos como las escorias de hierro y fundición, cascarillas de hierro, arenas de fundición y lodos de papeleras.

2.3.1.1.- Extracción de depósitos calcáreos: Canteras y minas a cielo abierto. Impacto ambiental y sostenibilidad.

Con respecto a la obtención a partir de canteras y minas, en el documento de análisis se expresa lo siguiente:

"Las principales materias primas, como la caliza, marga arcillosa y arcilla, se extraen de las canteras. En la mayoría de los casos la cantera está próxima a la planta" [5]

Tras este hecho, reside el falso beneficio de que la planta productora de cemento esté ubicada en las inmediaciones de una mina a cielo abierto, justificado por la reducción del coste de transporte. Como argumento principal está el impacto ambiental que ejerce este tipo de minas y excavaciones sobre el medio ambiente y la sociedad. Además, el impacto también es negativo para los recursos, ya que el uso de estas técnicas no garantiza la sostenibilidad.

Además, yendo un poco más allá de la visión nacional, en terceros países la existencia de este tipo de minas es muy elevada. Resulta peligroso contribuir a su explotación, perjudicando así la protección global del medio ambiente y los recursos.

2.3.1.2.- Materiales primarios sustitutivos.

Pasando a la otra forma de obtención de materia prima, no todo vale en el uso de material sustitutivo. En el siguiente capítulo se exponen las pautas para la valorización energética y se analiza la aptitud de diversos residuos.

Ante todo, resulta destacable el suministro de materias primas, tales como cenizas volantes a través de fuentes externas. Existen varías tesis doctorales y artículos que tratan sobre la influencia de dichas cenizas como sustituto parcial del cemento portland y la durabilidad en el hormigón [6][7][8].

De este modo, además de evitar el impacto ambiental producido por las minas, se aprovechan materiales desechados por otras industrias, los cuales son beneficiosos para la calidad del cemento.

2.3.1.3.- Dos enfoques para un subproceso. Cadena de valor interempresarial.

Llegados a este punto, enlazando con los apartados anteriores, se propone desdoblar en dos el subproceso de *obtención de materias primas*. Ambos abarcan los siguientes aspectos:

Subproceso 1. Enfoque analítico. Este subproceso afronta la estrategia analítica de selección de materiales:

- Recopilación de información. Ha de destacar la colaboración universitaria y el apoyo a la investigación. Este aspecto fue debatido en la visita a la fábrica.
- Análisis de las alternativas de obtención de recursos.
- Protección del medio ambiente.
- Nuevos materiales que mejoren las propiedades del clínker, como en el caso anteriormente descrito del uso de cenizas volantes. Desarrollo de patentes.

Subproceso 2. Enfoque logístico. Este subproceso afronta la estrategia logística de abastecimiento:

- Optimización de métodos de transporte.
- Control de stock y mantenimiento del recurso.

Ambos subprocesos deben relacionarse priorizando las sinergias entre ellos. De lo contrario, el beneficio obtenido tras la especialización fracasaría en contra de los intereses del proceso general y el producto final.

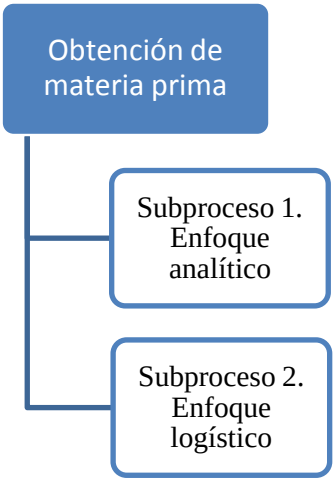

Figura 6: Propuesta de enfoque para un mismo subproceso. Enfoque analítico y enfoque logístico. Elaboración propia.

La principal conclusión obtenida tras consultar bibliografía, es que existe un vacío de normativa para la implementación efectiva de dichas estrategias.

Fundamentalmente por este motivo, se incluye como propuesta en este proyecto la siguiente:

Normalización y fomento de una cadena de valor interempresarial. Es necesario poner en práctica la colaboración entre empresas y una normativa ó guía más concreta en esta parte del proceso de la producción de cemento. Hay que diseñar una cadena de valor entre empresas que derive en normativa regulada y concreta sobre la obtención de materia prima y la reutilización de desechos.

En este capítulo, se introduce esta propuesta derivada del análisis del documento de las Mejores Técnicas Disponibles. Sin embargo, el dinamismo de esa cadena de valor se abordará en el capítulo dedicado a la valorización energética, donde se recogen los argumentos pertinentes.

2.3.2.- Almacenamiento y preparación de materias primas.

"El tratamiento previo de las materias primas es fundamental para el subsiguiente proceso del horno. Hay que prestar especial atención a la composición química del crudo y a la adecuada finura del mismo" [5]

Para garantizar que la composición química de la materia prima sea la deseada es necesario:

- El estudio de los sistemas de almacenamiento.

- La dosificación y pesaje exacto de los recursos materiales. Estudio de la molienda.

Ambos aspectos están relacionados entre sí.

2.3.2.1.- Almacenamiento de materias primas.

En primer lugar, para conseguir que la materia almacenada sea homogénea se acude a complejos sistemas de apilamiento en canteras. Están basados en las soluciones obtenidas tras aplicar el estudio de las teorías del lecho de mezcla [9]. Los métodos de apilamiento longitudinales más utilizados son:

- Formación de pilas piramidales (Método Chevrón).
- Método de las hileras superpuestas (Método Windrow).
- Formación de capas horizontales.
- Formación de estratos inclinados. (Método de los estratos).
- Método de las pilas cónicas.

Modelar matemáticamente estos sistemas no es sencillo. La descripción de sus fundamentos no se incluye en el alcance del proyecto. No obstante, se añade la referencia anterior debido a su importancia para diseñar los sistemas de apilamiento.

Ahora bien, conviene enumerar las razones que justifican el almacenamiento y homogenización de las materias primas [9]. Son las siguientes:

- Alimentación continúa de los hornos y suministro regular.
- Programación de la producción más ajustada y con menos incertidumbre.
- Posibilidad de premezcla de los distintos componentes del crudo.
- Crudo más uniforme.

2.3.2.2.- Molienda de materias primas.

En segundo lugar, es necesario controlar la dosificación y el pesaje exacto de los recursos, como se cita en el documento de análisis:

"Para lograr un crudo de composición química homogénea, es de gran importancia, que las materias primas que alimentan el molino se pesen y dosifiquen con la mayor exactitud posible" [5]

Este hecho determina el tipo de molino. Surgen diversas soluciones tecnológicas. Antes de acudir a un catálogo de selección de maquinaria, hay que tener en cuenta los factores principales que determinarán la elección [10]. Son los siguientes:

- Características del material.
- Nivel de producción deseada.
- Costes de inversión y gastos de explotación.
- Simulación de la disponibilidad y uso del molino.

Dos soluciones industriales típicas se extraen del catálogo de maquinaria de un determinado fabricante [10]:

- Molino de bolas. Destaca por la simplicidad de sus componentes y el fácil mantenimiento. Esto se asociada a un coste de inversión y mantenimiento bajo. La principal desventaja aparece en el elevado consumo energético.
- Molino de rodillos. Es capaz de combinar tres operaciones en una unidad compacta: molienda, secado y separación. Además, los requerimientos energéticos son menores que empleando la solución anterior.

Existe relación entre los dos aspectos descritos al principio, puesto que el principal nexo de unión es mejorar la eficiencia energética del sistema.

2.3.2.3.- Escenarios de trabajo. Visión teórica frente a visión industrial.

Como conclusión, puesto que garantizar la homogeneidad se presenta como tarea costosa, se realiza una discusión entre los siguientes escenarios de trabajo planteados para conseguir la premisa:

- Escenario A. Inversión en compra de equipos y bienes diseñados para *"prestar especial atención a la composición química del crudo y la adecuada finura del mismo"* [5]. Formación y desarrollo de profesionales cualificados capaces de establecer un criterio correcto, relacionando el análisis de la materia prima con la eficiencia del proceso. Todo ello a nivel interno en la empresa.
- Escenario B. Investigar en el mercado de la industria química especializado en tal cuestión. El objetivo es garantizar que sea factible la incorporación de una empresa externa en el sistema productivo propio. Dicho agente externo ha de estar dedicado a tareas de análisis y toma de decisiones en el empleo de las materias primas candidatas a alimentar el horno.

Ambos escenarios se plantean en las decisiones cotidianas de las empresas y se reflejan en diversos manuales de organización industrial [11].

La importancia de este razonamiento está en la actual situación económica del sector del cemento [12]. La mayoría de grupos industriales están en procesos de ajuste de empleo. Normalmente en estos casos, la reducción de personal camina hacia la subcontratación. Tras esta realidad se impone el pensamiento erróneo de que subcontratando no se invierte en formación.

Desde este proyecto se afirma que la inversión en formación siempre estará presente. Aunque se elija el Escenario B, la formación debe plasmarse de la siguiente manera:

- Elaboración de criterios y puntos de acción, a nivel interno.
- Redacción de manuales y guías descriptivas, a nivel externo.
- Sesiones formativas. Simulación de futuras acciones de trabajo.

La misión es que las empresas contratadas obtengan órdenes de trabajo detalladas y ejecuten los trabajos minimizando los errores. Hay que conseguir la adaptación de un agente externo al sistema productivo propio. Por eso, la formación, concebida de una forma o de otra, es imprescindible. [13]. Aquí también está presente la cadena de valor interempresarial propuesta en este proyecto.

Todo lo expuesto anteriormente se ha hecho desde una visión teórica. Sin embargo, tras la visita a la fábrica, se enriquece esta visión.

Se ha propuesto como Escenario B la subcontratación. Nótese que la dosificación y pesaje de los recursos resulta un proceso estratégico para la empresa cementera. De este modo, tras la visita a la fábrica, se comprobó que dicho escenario es tan sólo teórico, pues son mucho mayores los aspectos positivos derivados de que esas tareas estén integradas en la propia fase productiva. Así pues, el fundamento teórico es correcto. Simplemente con la visión industrial, en vez de aplicarlo a la preparación y selección de materias primas, se aplica a otras tareas como puede ser el transporte o la coordinación de seguridad.

2.3.3.- Almacenamiento y preparación de combustibles.

Los combustibles ostentan las preocupaciones de la mayoría de sectores industriales y de actividad económica. La base del proceso de una cementera es la obtención de energía térmica. El futuro pasa por que el uso de residuos alternativos adquiera cada vez mayor importancia en el proceso productivo, reduciendo así la dependencia de los combustibles tradicionales.

Actualmente, los combustibles mayoritarios en el sector son: el coque de petróleo y/o carbón pulverizado, los residuos orgánicos, el fuelóleo pesado y por último, el gas natural [5].

Como punto de partida, tras la siguiente cita es interesante plantear como reflexión un asunto de actualidad:

"El elevado coste impide normalmente el empleo de gas natural o fuelóleo, pero la elección de combustible depende de la situación local (un ejemplo es la aplicación de carbones nacionales donde se puedan obtener)". [5]

El reto de este proyecto está en la consecución de objetivos medioambientales y su puesta en valor. Sin embargo, en el planteamiento de abastecimiento de materia prima, también hay que situarse desde el punto de vista de los recursos asociados al emplazamiento de la planta.

En la situación de coyuntura económica y social por la que pasa el carbón en España, el estudio de una alternativa de abastecimiento para las cementeras aprovechando dichos recursos (con todos los inconvenientes, que no viene al caso describir en este momento) podría desencadenar un alivio y mejora de los agentes involucrados en dicha actividad. No obstante, esta reflexión sólo pretende manifestar que aunque la apuesta sea firme por

una solución, no es conveniente desaprovechar lo bueno, aunque sea poco, que puede tener la solución desechada.

2.3.3.1.- Almacenamiento de combustibles.

A la hora de seleccionar combustibles alternativos, no todo son razones ecológicas. Un motivo importante es el coste asociado a los sistemas de seguridad.

"El carbón y el coque de petróleo pulverizados se almacenan exclusivamente en silos. Por razones de seguridad (como el riesgo de autoignición o explosiones causadas por electricidad estática), estos silos deben estar equipados con medidas de seguridad" [5]

Por esta razón se afirma que en la reducción de este tipo de combustibles reside un primer pilar de la eficiencia económica de la empresa. Con el siguiente ejemplo, se justifica la afirmación anterior:

- Uso de Fuelóleo. Necesidad de almacenamiento en tanques de acero aislados y robustos mecánicamente. Para poder bombearlo y conseguir aumentar la fluidez es preciso calentarlo.
- Uso de gas natural. Este tipo de combustible requiere del suministro a través de las redes de distribución. Esto incurre en costes de acometida y mantenimiento de la red de distribución a cargo de la empresa cementera. Además, para la preparación de este combustible, hay que tener en cuenta aspectos como el siguiente:
    - Reducción de presión de la tubería de 30-80 bares a la presión en la planta, del orden de 3-10 bares. Surge la necesidad de una etapa de reducción de presión y por consiguiente, la instalación de una estación de transferencia del gas.

2.3.3.2.- Preparación de combustibles.

"La mayor parte del combustible que se alimenta al horno (65-85%) tiene que estar finamente molida, mientras que el resto (15-35%) puede ser alimentado sin pulverizar (p.e. neumáticos enteros o troceados), siendo introducido por puntos alternativos al quemador" [5]

Esta afirmación cambia la estrategia de diseño del punto de alimentación del horno. Con combustibles alternativos, es posible "exprimir" al máximo las teorías sobre alimentación de combustible. Abordar técnicamente el estudio de los puntos alternativos de alimentación excede el alcance del proyecto, sin embargo, los fundamentos se exponen en el capítulo dedicado a la valorización energética.

Tras elaborar esta etapa de diseño, la implementación debe estudiarse desde la perspectiva del impacto en el proceso general de fabricación de cemento. Es decir, tras el estudio de nuevas alternativas de alimentación, aumentan las posibilidades de lograr la omisión o reconversión de alguna de las fases del proceso productivo.

2.3.4.- Cocción del clínker.

2.3.4.1.- Fundamentos.

El proceso de clinkerización o sinterización tiene las siguientes condiciones [5]:

- La temperatura del material en el horno debe situarse entre 1400 y 1500 ºC, siendo la temperatura de llama de 2000ºC aproximadamente.
- Para la reacción del clinker son necesarias condiciones oxidantes.

En la fabricación de clínker blanco aparecen algunas excepciones:

- Las materias primas no pueden contener fundentes. De lo contrario afectaría a su coloración.
- La temperatura de los materiales en el horno debe situarse en torno a los 1600 ºC, siendo superiores las temperaturas de llama.
- En algunos casos es necesario trabajar en condiciones reductoras.

2.3.4.2.- Diseño. Aspectos positivos y negativos.

"Desde que se introdujo el horno rotatorio, allá por el año 1895, ha llegado a ser la parte central de todas las instalaciones modernas de producción de clínker" [5]

Desde hace más de un siglo, el horno cementero ha sufrido varias modificaciones de diseño. No es misión de este proyecto hacer un repaso de todas ellas, pero sí analizar técnicamente algunos aspectos positivos y negativos de ciertos criterios de diseño. Para ello, se requiere el apoyo de la experiencia, de cara a contraponer errores y aciertos y obtener conclusiones de diseño. [14]

2.3.4.2.1.- Aspectos positivos en el diseño del horno cementero.

La justificación cualitativa de los siguientes aspectos es:

Proceso de precalentamiento: polvo en suspensión. La importancia está en la capacidad de disminuir el tiempo de calentamiento del material de minutos a segundos, desde la temperatura inicial hasta un límite de 800º C. Para conseguirlo hay que introducir un cambiador de calor entre el polvo del crudo y los gases producidos por el horno.

Proceso de precalcinación. El objetivo es evitar la aparición de fase líquida. Para ello hay que fijar rigurosamente los límites de operación termodinámicos. Si hay fase líquida, aparecen efectos no deseados en forma de incrustaciones y taponamientos, con el inconveniente del proceso de descarbonatación como solución al problema. Actualmente, la precalcinación es indispensable en un proceso productivo cementero, ya que se fundamenta en la realización simultánea de la reacción exotérmica de la combustión y la reacción exotérmica de descarbonatación en el mismo reactor.

Proceso de pelletización del polvo. El objetivo es el aprovechamiento del polvo fino. Los separadores estáticos del precalentador tienen muy difícil la captación de partículas de menos de 5 micras, que provienen de filtros de mangas ó electrofiltros. Si el precalentador no distingue las partículas se produce un desperdicio de recurso. Se calcula que se pierde entre el 75 y 80 por ciento de los polvos más finos. El principal problema es que estas partículas son arrastradas y se mezclan con los gases de salida del horno añadiendo incertidumbre en el control de las salidas del proceso. La solución propuesta es la pelletización del polvo. Así, este tipo de partículas se agrupa en nódulos y su recirculación por el sistema de alimentación y llegada al precalentador es más efectiva, disminuyendo la posibilidad de desperdicio.

Uso de Técnicas termográficas y electrónicas. Son técnicas de mantenimiento, como los scanners y termografías. El interés reside en abordar el control del proceso desde el mantenimiento preventivo y predictivo. Para ello es necesario la monitorización y control de determinados parámetros, como distribuciones de temperaturas, puntos calientes, zonas de desprotección de material refractario ó zonas de mayores esfuerzos y solicitaciones mecánicas.

2.3.4.2.2.- Aspectos negativos en el diseño del horno cementero.

A continuación se justifica el porqué de algunos errores cometidos en diseño:

Precalcinación con topología cuello de cisne. Con esta topología el proceso de precalcinación pierde eficacia. El proceso de transferencia de calor es por convección, pero en flujo laminar. Esto se debe al aumento del tiempo de contacto de los gases. Lo necesario es realizar la convección necesariamente en régimen de flujo turbulento, y no laminar.

Precalentador "tipo S". Para ahorrar costes algunos diseñadores decidieron instalar sistemas de transporte del oxígeno demandado para la combustión a través del propio horno. Este hecho contribuye a enfriar la temperatura de la llama, afectando a la transferencia de calor. Es decir, sabiendo que un metro cúbico de aire en condiciones normales es capaz de aportar del orden de 300 gramos de oxigeno, y que, por el contrario, un metro cúbico de aire a 1000ºC sólo aportaría unos 65 gramos, es provechoso instalar un sistema de aporte de aire para la precalcinación, aportando oxígeno para la combustión con aire frío.

Hornos con relación Longitud – Diámetro deficiente. Como criterio general es importante la reducción de espacio en la planta. La principal limitación a este criterio está en la relación longitud - diámetro del horno. En cada zona del horno se llevan a cabo diferentes etapas, como son: transición, nodulización, clinkerización, y enfriamiento. Por esta razón, no es bueno diseñar hornos demasiado cortos, ya que de esta forma se extiende la llama desde la clinkerizacion hasta la zona de transición, provocando el efecto antes de la etapa de nodulización. Cada una las etapas es imprescindible y por tanto hay que respetar la longitud característica dedicada. Según bibliografía, es adecuado fijar está relación a partir de 12 metros.

2.3.4.3.- Implementación. Problemas en los hornos. Herramienta para el mantenimiento preventivo.

El horno rotatorio ha desplazado por completo a los hornos verticales, aunque todavía algunos continúan en uso en para niveles bajos de producción y en determinado tipo de industrias [5].

Existen muchos tipos de hornos comerciales, variando levemente sus puntos de operación. Actualmente los sistemas de hornos de ciclones y precalcinador se consideran la tecnología estándar para las plantas de proceso seco [5]. La descripción de estas tecnologías carece de sentido en este proyecto, emplazando al lector a hojas de características comerciales. Sin embargo, en cuanto a implementación es interesante abordar un problema frecuente, como se cita a continuación:

"Pueden ocurrir obstrucciones transitorias de material alrededor de la superficie interior del horno, dependiendo del proceso y de las materias primas" [5]

Estas obstrucciones pueden ocasionar tanto avalanchas de material como taponamientos. Depende de la zona donde ocurran.

Por tanto, el objetivo es:

- Introducir el mantenimiento preventivo como estrategia.
- Disminuir costes y reducir los problemas asociados al mantenimiento correctivo, como por ejemplo, la parada productiva.

De este modo, se explora el mercado en busca de soluciones que tengan como objetivo la eliminación de estas pegaduras y taponamientos, que se producen con bastante frecuencia.

Se propone un sistema de eliminación de taponamientos basado en *fenómenos de rotura a alta presión*. La descripción de este sistema se presenta a continuación [15]:

Componentes. Está constituido por un tubo de acero de elevada resistencia mecánica, un cartucho químicamente reactivo y un dispositivo de ruptura, que puede ser a modo de disco. Además se emplea dióxido de carbono en estado líquido, el cual será introducido en el tubo de acero.

Funcionamiento. El sistema se activa cuando una pequeña descarga eléctrica es aplicada sobre el tubo, que cargado del componente químico, hace que éste cambie de estado líquido a gaseoso. Esto produce que el dióxido de carbono se expanda, provocando así la ruptura del disco diseñado para tal fin. Hay que tener en cuenta que el cambio de estado lleva al CO_2 a un cambio de volumen del orden de unas 600 veces superior al que tenía en estado líquido, llegando a ejercer presiones de hasta unos 3000 bares.

Figura 7. Partes del sistema de eliminación de taponamientos basado en fenómenos de rotura a alta presión. Cardox.

Ventajas. El dióxido de carbono es un gas muy común en muchas aplicaciones, como por ejemplo los extintores. Además, el CO_2 es la principal emisión a disminuir y que irremediablemente se obtiene del proceso de producción de cemento. Así pues aparece la capacidad de realimentación entre emisiones potenciales y la reutilización del dióxido de carbono emitido. Otra ventaja revierte directamente en el operario, puesto que no es necesario entrar en las inmediaciones del horno para limpiar el taponamiento y las pegaduras. Por último, el tubo es reutilizable y tiene una vida útil de unos 10 a 15 años. Como consecuencia podrá estar operativo cuando vuelva a ser requerido.

Al tratarse de un producto diseñado y patentado por una empresa, en el catálogo citado no consta información relativa al coste. Aún así, antes de implementar una solución de este tipo, hay que evaluar las siguientes situaciones:

- Se adopta la solución. Coste unitario y amortización del producto.
- Se desecha la solución. Costes incurridos en caso de mal funcionamiento del horno, pérdida de calidad y producción, destrucción de elementos, etc.

2.3.4.4.- Consumo y reducción de material refractario en la industria del cemento.

En cuanto a materiales, diseñar y construir un horno adecuado depende del cálculo de la duración del revestimiento que ocupa las distintas zonas del horno. Para ello, hay que tener en cuenta lo siguiente [16]:

- El desgaste y duración del revestimiento disminuye a medida que el diámetro del horno se hace cada vez mayor.
- La creciente velocidad alcanzada en la periferia del mismo, así como a la deformabilidad de la chapa. Especialmente en hornos rotatorios.
- En la zona caliente de los hornos, otro factor importante es la carga térmica de ese punto, expresada generalmente en Kcal/m2/h. Aumenta con el diámetro.

2.3.4.4.1.- Esfuerzos en el revestimiento.

Los esfuerzos en el horno son termomecánicos y por ataque químico.

Termomecánicos. La velocidad a la que se desplazan las partículas de polvo volátil transportadas en los gases de combustión, del orden de 8 a 16 m/s, producen efectos

erosivos y de desgaste. Además hay que considerar los esfuerzos térmicos, como son las variaciones en la temperatura de la pared interior del horno. Como herramienta de selección de materiales se propone realizar simulaciones y software de cálculo de estructuras.

Ataque químico. Los gases de combustión, además del polvo del material de la fase de cocción, contienen compuestos de azufre, alcalinos, de cloro y de flúor. Se producen por la reacción de los componentes vaporizables de los productos en fase de cocción y de las cenizas del combustible. El problema se agrava al repetir el proceso: los compuestos ya enfriados, se precipitan análogamente sobre otras partículas de polvo. Los efectos negativos se producen si las condensaciones de sulfatos y cloruros alcalinos llegan a fundirse, ya que penetrarían en los revestimientos refractarios del horno.

2.3.4.4.2.- Importancia de los gases de salida.

"Los gases de salida de los hornos se pasan a través de un dispositivo de depuración (precipitador electrostático o filtro de mangas) para la separación del polvo antes de que se emitan a la atmósfera por la chimenea principal" [5]

Está en el alcance de este capítulo describir cualitativamente la estrategia respecto al control y reducción de emisiones en la planta.

2.3.5.- Molienda y almacenamiento de cemento.

2.3.5.1.- Almacenamiento del clínker.

"El clínker y otros componentes del cemento se almacenan en silos o en naves cerradas" [5]

Como se expresa en el documento de análisis, los sistemas de almacenamiento más comunes son:

- Depósito longitudinal con descarga por gravedad.
- Depósito circular con descarga por gravedad.
- Silo.
- Silos esféricos tipo domo.

Figura 8: Construcción de un silo en una planta cementera.

Dichos sistemas de almacenamiento son correctos y no se añadirá nada más sobre ellos. Pese a esto, a continuación se realiza una crítica y propuesta de mejora.

En el almacenamiento del clínker hay operaciones de manipulación y traslado, tanto en la planta como para su comercialización. Es criticable que no se mencione la peligrosidad que el clinker tiene sobre la salud y sobre los materiales destinados a soportar su almacenamiento.

El clinker resulta altamente peligroso para la salud debido a que es un material corrosivo y tóxico. Además, también lo es para los bienes materiales dispuestos para su almacenamiento. Con respecto a lo último, un ejemplo es el efecto de la corrosión. Este fenómeno es indeseable en la mayoría de instalaciones industriales. Si no se tiene en cuenta, ocasiona costes económicos en sustitución de equipos e incluso materia prima.

Para la salud, el clínker engloba los siguientes peligros [17]:

- El polvo emitido puede provocar daños oculares.
- Si el clínker entra en contacto con la piel puede provocar quemaduras y dermatitis.
- Si se entra en contacto por inhalación existe una relación con desarrollo de cáncer y silicosis.

Existen otros efectos nocivos que se describen en estudios de prevención de riesgos laborales a los que se ha tenido acceso, según bibliografía [17].

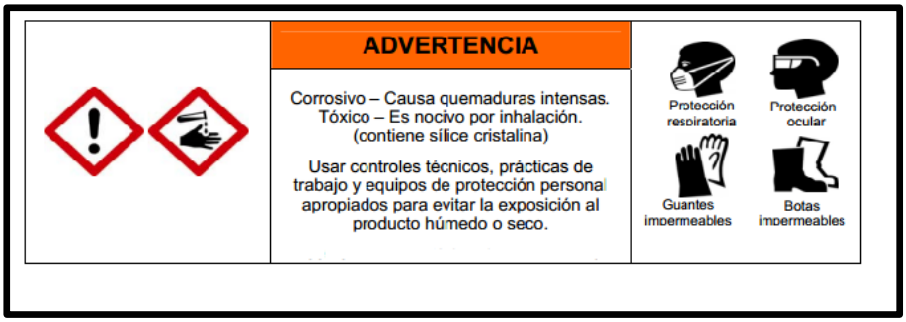

Figura 9. Etiqueta, advertencia y equipos de protección individual para un producto tóxico y corrosivo. Cementos Lafarge.

Realizada la crítica, la principal propuesta es la inclusión de documentación referente a la minimización de riesgos derivados del clínker.

Los criterios básicos a tener en cuenta para la prevención de riesgos son los siguientes:

- El clínker debe permanecer seco y ser manipulado en bolsas.
- Se debe prestar atención a operaciones como el corte, trituración o molienda, puesto que existe la posibilidad de desprendimiento de sílice cristalina respirable.
- En las acciones de limpieza u otras operaciones pertinentes, minimizar el levantamiento de polvo.
- La ropa de trabajo en contacto con clinker, tras la finalización de las operaciones correspondientes, ha de ser retirada y lavada.
- Para el almacenamiento del clinker, el rango de temperaturas y de presiones está abierto, y aunque no existen límites restrictivos fijados, no es conveniente descuidar este factor.

2.3.5.1.1.- Reflexión.

Además de material bibliográfico como guías, tesis e informes, también se ha indagado en artículos periodísticos. De estos últimos se encontró una noticia que da pie a la siguiente reflexión:

Entre los años 2007 y 2010, [18] una empresa se dedicó a la comercialización fraudulenta de clínker. Consiguieron evadir mucho capital incurriendo en fraude fiscal. El origen estaba en el transporte y descarga de clínker sin ningún tipo de control. Como se intuye, se despreció por completo los procesos recomendados y exigidos por la ley, así como la salud de trabajadores y consumidores.

El conocimiento de semejantes hechos refrenda la motivación del capítulo: demostrar que el pensamiento de que todo está legislado y controlado en nuestro país es erróneo.

Por culpa de esa actitud aparecen comportamientos autocomplacientes carentes de capacidad de análisis, crítica y propuestas de mejora, atribuyendo exclusivamente todos los aspectos negativos al hundimiento del negocio en el sector inmobiliario.

Como conclusión, es interesante investigar sobre la cantidad de procesos que se pudieron ejecutar de forma errónea en los años del famoso "boom" del sector de la construcción. El objetivo sería enriquecer las propuestas de mejora enunciadas en el ámbito medioambiental, social y de salud pública, para revertir posteriormente en la consecución del desarrollo más sostenible del sector.

2.3.5.2.- Molienda del cemento.

2.3.5.2.1.- Importancia de puzonalas naturales.

"El cemento Portland se produce moliendo juntos clínker y sulfatos tales como yeso y anhidrita. En los cementos de adición (cementos compuestos) hay otros constituyentes, tales como escoria granulada de alto horno, puzolanas artificiales o naturales, o filler calizo" [5]

En relación con el capítulo de valorización energética, se considera interesante mencionar los efectos del uso de puzolanas naturales y escorias granuladas de altos hornos [19].

La producción de cemento Portland cada vez es más exigente. La formulación de *cementos a medida* se basa en añadir dos o más adiciones a partir de la molienda separada de los constituyentes. El principal problema reside en un contenido alto de adiciones, que disminuye la resistencia mecánica inicial del cemento.

De este modo, del estudio de referencia se desprende que los porcentajes de adiciones óptimos son los siguientes:

- Puzolana natural molida, de 0 a 20%
- Escoria granulada de alto horno, de 0 a 35%.

En relación con este proyecto, los objetivos conseguidos a destacar son:

- Mejora de la resistencia del cemento.
- Uso de recursos naturales de forma racional sin comprometer la resistencia a flexión o complexión del mortero.

2.3.5.2.2.- Pesaje y dosificación de la alimentación del molino.

"La exactitud y fiabilidad en el pesaje y dosificación de los componentes alimentados en el molino, es de gran importancia para conseguir mantener una alta eficiencia energética de la molienda" [5]

Como en apartados anteriores de este capítulo vuelve a destacar la importancia del pesaje y la dosificación, en este caso en la molienda. Llegados a este punto, es

interesante describir las ventajas e inconvenientes de la actual tecnología de molienda en cemento. Se distinguen los siguientes tipos:

Molino de bolas.

Ventajas:

- No requiere gases calientes para el secado de las materias primas, situándose el máximo porcentual en el 5%.
- Fácil mantenimiento basado en una tecnología implementada durante muchos años.

Desventajas:

- Mayor consumo de energía eléctrica
- Disminuye la eficiencia de molturación. El 80% de la energía se disipa en forma de calor, ruido y vibraciones.
- El diseño no es compacto (molienda, separación y secado).

Molino vertical.

Ventajas:

- Disminuye el consumo de energía eléctrica.
- Reduce el espacio físico de instalación.
- Diseño compacto: realiza las operaciones de molienda, separación y secado.
- Aumenta la eficiencia en la molturación.

Desventajas:

- Requiere gases calientes para el secado.
- El mantenimiento es más complejo.
- Aumentan las vibraciones mecánicas, aumentando el desgaste.

Molino Horomill.

Ventajas:

- Menor consumo de energía eléctrica.
- Reduce el espacio físico de instalación.
- Versatilidad en el diseño: se puede alimentar al separador por ambos extremos del molino.

Desventajas:

- Menos experiencia en cuanto a su tecnología.
- Requiere gases calientes para el secado de materias primas.
- Mantenimiento complejo.

- Coste elevado.

Pese a esto, como conclusión, el análisis sobre dichas tecnologías no tiene sentido sin el estudio previo de los materiales. Esto comprende, como ya se indicó, el proceso de dosificación y pesaje. De la materia que entre en el molino depende el éxito de la molienda para conformar cualquier tipo de cemento.

2.3.5.3.- Almacenamiento de cemento. Un problema de calidad y envejecimiento.

El cemento es un material sensible a la humedad y temperatura. En su almacenamiento existe riesgo de pérdida de propiedades, tanto físicas como químicas.

No es recomendable almacenar cemento durante más de dos meses. Pasado ese tiempo el material debería analizarse para garantizar las propiedades. La importancia está en el posterior uso del cemento: construcción de edificios u otro tipo de instalaciones frecuentadas por personas.

En la guía de las Mejores Técnicas Disponibles [5] no se expresa nada sobre el riesgo antes mencionado. Fundamentalmente se enumeran los sistemas de almacenamiento adecuados:

"Generalmente, se requieren varios silos para el almacenamiento, de los distintos cementos. Sin embargo, los nuevos diseños de silos permiten el almacenamiento de más de un tipo de cemento en el mismo silo" [5]

No se presenta ninguna discrepancia al uso de silos para almacenar el cemento, los cuales resguardan del agua e impiden la absorción de humedad. Sin embargo, el objetivo de la siguiente discusión es enriquecer la etapa de almacenamiento de cemento.

La actitud del cliente también puede afectar al proceso, sobretodo impactando negativamente en la imagen y percepción de calidad que se pretende dar. Es decir, una vez que el cemento esté fuera de la responsabilidad del productor, normalmente este material volverá a almacenarse, por ejemplo, en las instalaciones dedicadas a la llegada de material en obra civil. En estos casos, el envejecimiento del cemento influye de forma indeseable en la imagen de marca, especialmente tras la inversión de capital en reingeniería de procesos para mejorar la fabricación.

De producirse el envejecimiento la calidad no sería apta para su uso. El problema reside en que el cliente y/o terceras personas asocien los problemas ocasionados exclusivamente al proceso productivo, con la correspondiente pérdida de confianza y negocio. Por esta razón, se propone fomentar la formación del cliente como prolongación de la propia cadena productiva, añadiendo valor basado en la realimentación de información para entre productor y cliente.

La misión principal de "prolongar" la cadena productiva reside en la concienciación y puesta en valor de las responsabilidades de cada agente.

2.3.6.- Ensacado y expediciones de cemento. El problema de localización.

"La expedición del cemento se realiza directamente a granel mediante cisternas por carretera o ferrocarril (o barco), o bien ensacado. Las operaciones de ensacado y paletizado se realizan en una línea ensecadora" [5]

El interés de esta fase del proceso productivo no está en el medio de transporte, sino en el problema de localización de la planta. Los sistemas de transporte y distribución se relacionan con la localización aplicando métodos multicriterio y de investigación operativa. Que este aspecto no se incluya en el alcance del proyecto en absoluto significa que no se deba considerar; la localización de la planta industrial y su relación con los sistemas de transporte y distribución dan lugar al desarrollo y estudio de complejas teorías de diseño de sistemas productivos, donde destacan los métodos multicriterio y la investigación operativa.

También hay que hacer hincapié en el desarrollo de acciones planificadas y controladas para que el desprendimiento de polvo no se produzca. En caso de que esto no fuese posible, se considera altamente recomendable el diseño y puesta en marcha de una instalación de filtrado debidamente calculada.

2.3.6.1.- Máquina ensacadora. Descripción e integración en el sistema productivo.

Funciona con un sistema compuesto por una fila de tres o cuatro boquillas, dispuestas linealmente, a partir de la cual se procede al llenado de cemento. Es interesante identificar cómo se integra ésta máquina en el sistema productivo. Esta integración es posible gracias a dispositivos como: elevadores de cangilones, cintas transportadoras, y elementos auxiliares como tamices vibratorios, tolvas o válvulas de control.

Figura 10: Máquina ensacadora.

Se demuestra que en cada fase de fabricación de cemento se plantean diversos ámbitos donde el ingeniero y diseñador de debe ser capaz de desenvolverse sin ningún problema. Para ello es necesaria una actitud crítica y metodológicamente estructurada en relación con el cálculo de los sistemas y la adaptación a los cambios tecnológicos.

2.4.- Conclusiones.

A través del análisis cualitativo de la descripción de procesos según la Guía de Mejores Técnicas Disponibles, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El documento, en su apartado de estudio, resulta bastante escueto, no adentrándose en ningún proceso en concreto, pues se limita a una descripción simple y sencilla.
- En relación con esto, aspectos fundamentales como seguridad, gestión del agua, eficiencia y ahorro, innovación, materiales, diseño e implementación, organización industrial, entre otros, no se mencionan explícitamente en el documento. La Ingeniería Industrial abarca dichos apartados, y sobre los fundamentos de la misma se ha realizado la crítica y las propuestas.
- Queda mucho por hacer en cuanto a la eficiencia de los procesos. El sector y los agentes legisladores del mismo todavía tienen campos por abordar para contribuir a su mejora.
- Destaca por último, la propuesta de cadena de valor interempresarial. Dicho mecanismo será protagonista principalmente en el ámbito de la valorización energética. No obstante, se introduce en este capítulo pues también afecta a ciertos subprocesos, como se ha manifestado.

3.- Valorización energética de residuos.

3.1.- Introducción.

En la industria cementera, el futuro pasa por la oportunidad de aprovechar determinados residuos aptos para el proceso productivo, reduciendo así el nivel de emisiones contaminantes.

España forma parte de lo denominado como "países desarrollados". La tecnología en las empresas está aceptablemente implantada y las técnicas de valorización energética se aplican desde hace treinta años. Entonces, ¿dónde reside la importancia de dedicar un capítulo a este tema?

La motivación principal es criticar el pensamiento de que la valorización energética engloba una serie de técnicas que ya están divulgadas e implementadas. Es un error atribuir valor a las posteriores explicaciones sólo en caso de aplicarse a países emergentes como Brasil, China e India, por ejemplo.

La innovación no es la única perspectiva desde la que se debe abordar la valorización energética. Existe otro campo de acción: la gestión de residuos. Esta segunda perspectiva debe manifestarse como un compromiso por reducir las deficiencias en la gestión de residuos, presente tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

Se plantea un escenario para mejorar la eficiencia energética y la reducción de emisiones. De este modo el objetivo del capítulo es describir los conceptos de la valorización de residuos. Para ello, se hace un recorrido estructurado en: fase de diseño, de implementación, toma de decisiones y minimización de impactos.

3.1.1.- Principios generales.

Las consideraciones básicas que rigen la valorización son las siguientes:

- Considerar la valorización como parte integral de la gestión de residuos. La jerarquía es muy importante, tomando como referencia la directiva de residuos del Parlamento Europeo.
- Las técnicas de valorización energética no pueden generar otras actividades de contaminación equivalente o superior, así como perjudicar la salud de las personas.
- La calidad del clínker y por tanto, del cemento, debe ser la misma o superior. Esto contribuye a la recuperación de final del ciclo.
- La puesta en marcha de estas técnicas no es sencilla. Es necesario demostrar compromiso por medio de acciones estructuradas en la empresa. No se trata de transmitir una imagen de buenas prácticas reflejada en la redacción de informes autocomplacientes. La empresa decidida a llevar a cabo estas técnicas debe contar con personal cualificado y sistemas aptos para el correcto desarrollo de los procesos en la valorización.
- La valorización no debe aplicarse exclusivamente a una fábrica. Son técnicas con un enfoque a largo plazo y combinadas con otras estrategias de eliminación

de residuos, bien sea del sector cementero o de otro sector productivo. Se trata por tanto de una estrategia global, si cabe la expresión, a nivel de política de estado.

3.2.- Jerarquía de residuos.

La siguiente figura referente a la jerarquía de residuos se muestra para ver donde se encuadra la valorización:

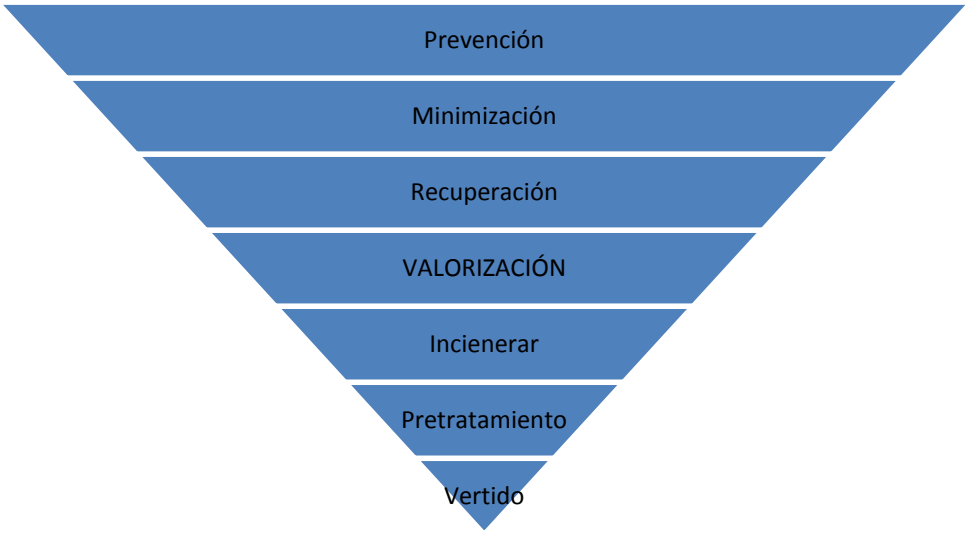

Figura 11: Jerarquía de residuos. Holcim España.

La jerarquía mostrada en la figura debe respetarse, ya que la valorización es un tratamiento alternativo dentro de la gestión de residuos.

Brevemente, se explica en qué consiste cada tramo de la pirámide invertida:

- Prevención. Es la acción siempre deseable. En muchas ocasiones es difícil lograrlo, incluso aplicando una política muy estricta de control de productos.
- Minimización. Son acciones dedicadas a cambiar la actitud del consumidor y el proceso productivo con el objetivo de generar procesos más limpios. Un ejemplo es el ahorro en el embalaje y envasado.
- Recuperación. Se basa en el reciclado y reutilización. Engloba técnicas presentes de depuración de aguas, como por ejemplo el compostaje o la digestión anaeróbica.
- Incineración. Trata de reducir el volumen de los residuos cuando a estos no se les puede aplicar ninguna técnica descrita anteriormente.

- Pretratamientos. Son operaciones físico-químicas y de relleno controlado. En primer lugar se emplea para la estabilización de los residuos no reciclables, y posteriormente para la disposición final de los mismos.
- Vertido. La opción a evitar en todo momento es la incineración o apilamiento no controlado, debido a las potenciales emisiones por combustión al aire libre.

Como primera conclusión, la valorización energética es la solución más apropiada, desde el punto de vista económico y ambiental, para la recuperación de energía y materiales a partir de residuos, obteniendo así un sustituto para las energías que provienen de fósiles.

Sin embargo, materializar la conclusión anterior no es en absoluto sencillo. Para ello se requiere comenzar con una fase de diseño y análisis para la posterior implementación. Secuencialmente, ambos aspectos se describen a continuación en este capítulo.

3.3.- Etapa de Diseño.

Las técnicas de análisis basadas en Diseño Ecológico (Ecodiseño) son fundamentales para la consecución de objetivos medioambientales y económicos en la industria.

Para discutir sobre reingeniería de procesos y reducción de emisiones, las técnicas asociadas al Ecodiseño deben posicionarse adecuadamente con el objetivo de que el diseñador de planta identifique cómo tiene que abordar el proceso de optimización.

3.3.1.- Análisis del ciclo de Vida.

El diseño de las técnicas de valorización energética requiere análisis y tiempo. Ineludiblemente esto se traduce en inversión económica.

De este modo, la toma de decisiones para abordar la gestión de residuos necesita herramientas eficaces para obtener datos y conclusiones. Por este motivo, para llevar a cabo la etapa de diseño se explica a continuación la estrategia denominada *Análisis de los Ciclos de Vida* o *Ecobalances.*

Los procedimientos y fases de esta técnica se enumeran a continuación:

Definición de Objetivos. El método del ciclo de vida consiste en plantear y simular una situación real. Así, las variables que entren directamente en el proceso deben estar definidas. Para ello hay que fijar la precisión y los límites espaciales y temporales del estudio.

Análisis de inventario. Es necesario detallar al máximo todos los aspectos que van a intervenir en este análisis. Como ejemplo, se recomienda el desarrollo de un esquema auxiliar denominado *árbol de procesos*. Se trata de un recurso visual para considerar todos los eventos que se dan lugar en el clico de vida de un proceso a analizar. A continuación se muestra el siguiente árbol para mayor comprensión de lo expresado hasta ahora: se trata de un Balance de Energía del Proceso de Fabricación de Productos de Asbesto-Cemento.

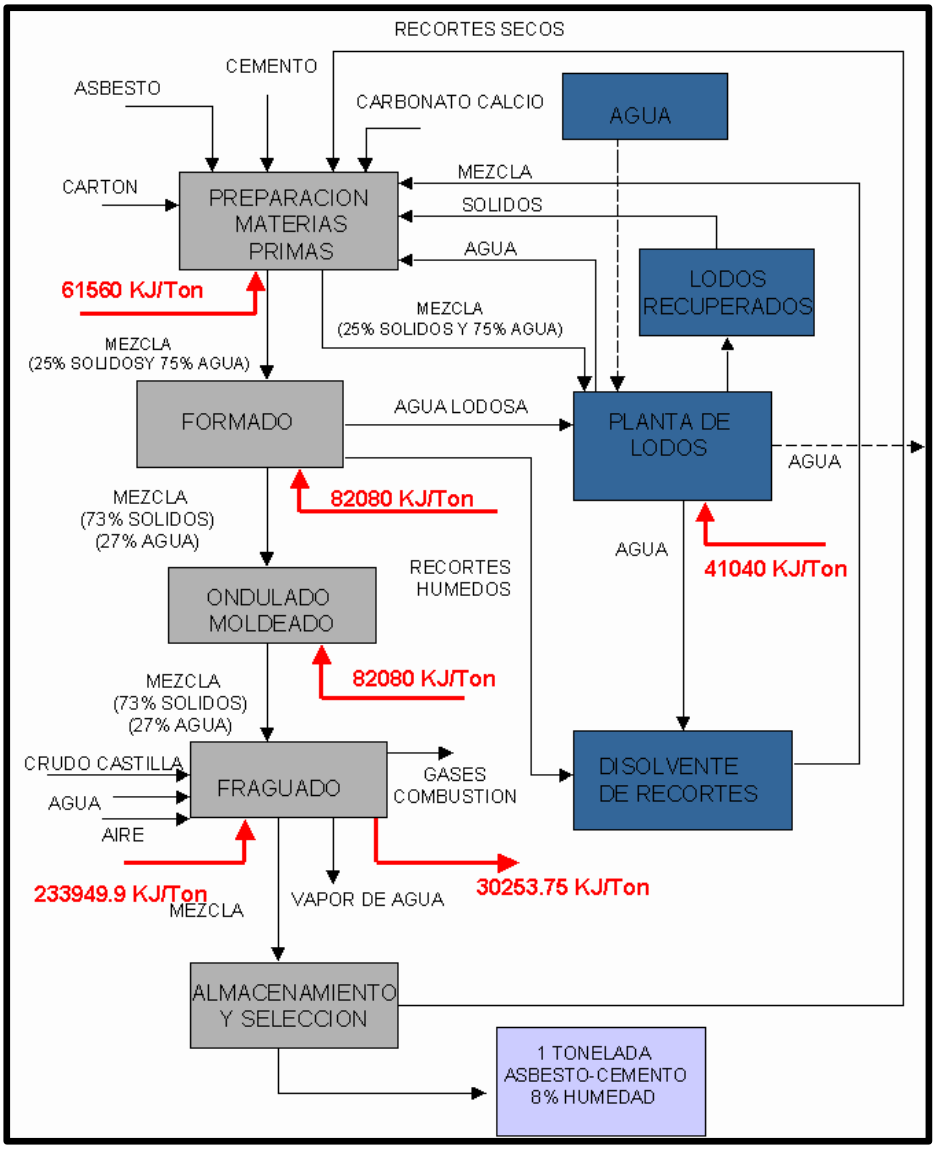

Figura 12: Ejemplo ilustrativo de Balance de Energía del Proceso de Fabricación de Productos de Asbesto-Cemento. Holcim España

Tras esto puede dar comienzo la recolección de datos referentes a las emisiones de cada parte del proceso. El resultado de este análisis de inventario consiste en la elaboración de una lista o tabla de recursos impactados. Nótese que existen tablas normalizadas de recursos impactados en materiales diversos como plásticos, aceros, aluminios, papel, etc.

Análisis de impactos. Una vez obtenidos los resultados de la fase anterior, se procede a un cribado de los mismos, ya que muchos son irrelevantes para tomar decisiones.

Análisis de mejoras. Llegados a este punto, se trata de comprobar la conexión entre objetivo principal y las conclusiones obtenidas en un primer momento. Se recomienda

estructura el análisis en áreas potenciales de mejoras, para agrupar las que presenten *sinergias* y realizar las tareas de forma sencilla.

Nótese que para llevar a cabo este tipo de análisis es imprescindible el uso de software informático. Existen numerosas alternativas comerciales, todas ellas de elevada complejidad. Resulta interesante acceder a documentación sobre los fundamentos de las aplicaciones informáticas, poniendo especial interés en algunos programas comerciales.

3.3.2.- Matriz MET como alternativa de diseño.

Una alternativa frecuentemente utilizada en los diseñadores es la Matriz MET. La misión es restar dificultad a la estrategia antes mencionada.

Esta matriz permite realizar el análisis de todos los problemas ambientales que un producto provoca durante su ciclo de vida para establecer su perfil ambiental correspondiente. Permite realizar un enfoque de cada aspecto del ciclo de vida, consiguiendo así mayor síntesis en las conclusiones posteriores.

La matriz MET consta de tres columnas que indican lo siguiente:

- Columna de materiales. Es la encargada de acumular el número de materiales no renovables que provocan emisiones durante su producción, así como resto de materiales incompatibles relacionados durante las cinco etapas de las que consta el ciclo de vida de un determinado producto.
- Columna de uso energético. Se lleva a cabo el recuento del consumo energético presente en cada etapa del ciclo de vida, tanto en operaciones como manufactura, transporte, desecho, como en otras en las que no, y que gracias a otros métodos descritos anteriormente pueden tener mayor visibilidad para su posterior análisis.
- Columna de emisiones tóxicas. Se contabilizan las emisiones tóxicas vertidas al agua, aire o tierra en alguna de las etapas del ciclo de vida del producto en cuestión.

3.4.- Etapa de implementación.

Tras la fase de diseño comienza la implementación. En el capítulo dedicado a los procesos se introdujo una de las ventajas del empleo de material sustitutivo en los hornos: la versatilidad que adquiere el sistema de alimentación.

Los puntos de alimentación más comunes son:

- Por el quemador principal, en el extremo de salida del horno rotatorio.
- Por quemadores secundarios al tubo ascendente.
- Por quemadores de precalcinación al precalcinador.
- Para hornos largos de proceso húmedo o seco, por válvula de la zona media del horno rotatorio, siempre y cuando se trata de combustible en grandes cantidades.

Se consiguen dos hechos significativos:

- Optimización. Gracias a la sustitución directa del combustible primario por material residual de alto poder calorífico, la eficiencia obtenida en la recuperación de energía resulta mayor en comparación con otro tipo de técnicas que también pueden ser aplicadas.
- Reducción de emisiones. Por las condiciones alcalinas y de mezclado intensivo que se alcanzan en el horno, la absorción de los componentes volátiles de la fase gaseosa resulta favorecida. De este modo, gracias a la depuración interna del gas conseguida, se disminuyen las emisiones de SO_2 Y HCL, únicamente a excepción de materiales como el mercurio y el talio.

Para aumentar su aclaración, se ilustrará todo lo dicho hasta ahora con un caso práctico, donde se pone de manifiesto la selección de puntos de alimentación adecuados.

3.4.1.- Modificación de las instalaciones: operación de hornos con neumáticos y residuos líquidos.

Para garantizar una mayor comprensión, se describen los elementos técnicos a través de la evolución típica en las fábricas españolas que han empleado esta técnica.

Se parte de un horno de 117 metros de longitud y 5 metros de diámetro. Consta de un intercambiador de calor de dos etapas, y la producción máxima alcanzada asciende a 1900 t/día. Como combustibles tradicionales, emplea una mezcla de coque y carbón, así como fuel-oil para las etapas de arranque. Con todo esto, el consumo calorífico específico resulta ser de 3875 KJ/kg de clínker, situándose el de energía eléctrica en aproximadamente 70 KWh/t de clínker.

Se seleccionan tres tipos de residuos alternativos: neumáticos enteros (sólidos), disolventes y aceites usados (líquidos). Los puntos de operación para trabajar con los residuos líquidos son los siguientes:

- Para los aceites usados, el punto de inflamación debe ser superior a 55 ºC, con un contenido en PCBs que no supere las 50 ppm.
- Para los disolventes el punto de inflamación debe ser superior a -10ºC. Se fija el contenido en cloro en el 1%, con poder calorífico entre 1500 y 11500 Kcal/kg. La viscosidad medida a 20ºC tiene que ser menor que 100 Cps.

Reiterando lo dicho en otras ocasiones, la estrategia de valorización requiere inversión en recursos. Esto se traduce en la modificación de instalaciones como las de almacenamiento, manipulación y pretratamiento de los residuos alternativos.

Para los residuos seleccionados las instalaciones son las siguientes:

- Para el aceite usado, es preciso montar un determinado número de tanques, así como equipos e instalaciones de fluidos para el transporte y alimentación del horno.

- Para los disolventes, también es preciso montar un determinado número de tanques donde se puedan almacenar. Sin embargo, la diferencia está en que dichos elementos de almacenaje deben estar inertizados. La razón es cumplir los requisitos de una instalación diseñada para líquidos inflamables.
- Para el uso de neumáticos se distinguen varias etapas: en primer lugar, una fase de almacenamiento previa clasificación. En segundo lugar, está la etapa de alimentación regulada, la cual es controlada por un dispositivo de inyección directa al horno. Destaca la versatilidad de la instalación: realizando pequeñas modificaciones, son aptas para poder valorizar residuos afines como bidones y plásticos.

La alimentación de los residuos en el horno se realiza de la siguiente manera:

- Los líquidos se bombean directamente gracias a las instalaciones de fluidos, llegando a introducirse al horno por el quemador principal.
- Los neumáticos se alimentados por medio de una válvula con una distancia de separación aproximadamente de 50 y 60 metros de la torre del intercambiador. Son imprescindibles elementos mecánicos como virolas, horquillas y accionamientos de levas.

Como conclusión, la versatilidad de los puntos de alimentación en el uso de material sustitutivo se impone. En contraposición, el carbón molido se introduce en la zona exterior de la tobera, formando la llama principal.

3.4.2.- Caso práctico como ejemplo: Cementera Lagerdorf, Holcim Alemania.

Hace aproximadamente treinta años una empresa cementera alemana implementó la valorización. Lo hizo con aceite usado y residuos industriales como tierra de diatomeas y lodos de papel.

A la hora de seleccionar el punto de alimentación, se establecieron como criterios:

- Los lodos derivados del tratamiento de agua potable están menos contaminados que la materia prima virgen. Con este razonamiento se evitó la necesidad de realizar más pruebas específicas.
- El resto de material sustitutivo se suministró directamente a la parte “caliente” del proceso. El objetivo era incinerar completamente los componentes orgánicos.

3.4.2.1.- Fundamentos operativos.

Los residuos orgánicos de la industria química se consideran “residuos peligrosos” debido a su composición. Gracias al calcinador del horno, estos residuos se queman por completo eliminando la peligrosidad. Además, se recupera considerablemente el poder calorífico.

Por otro lado, para conseguir materia prima muy parecida a la arcilla natural, se proporciona óxido de aluminio de grano fino, proveniente del tratamiento de escorias de sal tras el proceso de fundición de aluminio. Este óxido se suministra al calcinador como materia alternativa, consiguiéndose así la reducción de NO_x de la llama principal gracias al contenido de amoníaco.

3.4.2.2.- Conclusiones.

Todos los materiales candidatos a sustituir los combustibles fósiles, deben someterse a un proceso de valoración previa. Los materiales sustitutivos tienen que cumplir su función sin perjudicar otras fases del proceso, además de ser compatibles con el horno.

Con este ejemplo se realimenta lo citado en el capítulo de procesos: la pretensión de mejorar el análisis de materias primas sustitutivas en el proceso productivo del cemento.

3.5.- Valorización energética. Visión desde la recuperación.

Se han desarrollado argumentos suficientes para afirmar que las técnicas de valorización son beneficiosas en la industria del cemento y en la gestión de residuos.

Además, tampoco hay que olvidar la importancia de esta técnica desde la perspectiva social, presentándose como la recuperación de materia prima valiosa. Es decir, hay que valorar las dos vertientes de la valorización: la sustitución de combustibles tradicionales y la recuperación de materias valiosas.

A continuación se muestra una tabla con información relativa a materias primas alternativas clasificadas por grupos:

Componentes	Residuos	Fuentes industriales
Minerales arcillosos	▪ Residuos de recubrimiento ▪ Lodo de reciclaje de aluminio	▪ Fundiciones ▪ Industria del aluminio
Piedra caliza	▪ Cal industrial ▪ Lodo de cal	▪ Proceso de neutralización ▪ Tratamiento de aguas residuales
Silicatos	▪ Arena para fundición ▪ Suelo contaminado	▪ Fundiciones ▪ Recuperación del suelo
Óxido de hierro	▪ Pirita tostada ▪ Lodo mecánico ▪ Lodo rojo	▪ Industria metalúrgica ▪ Tratamiento de aguas residuales industriales
Si-Al-Ca-Fe	▪ Cenizas volátiles ▪ Arena triturada	▪ Incinerador ▪ Fundiciones

Azufre	▪ Yeso desulfurado de gas ▪ Yeso químico	▪ Incineración ▪ Proceso de neutralización
Flúor	▪ Lodo del filtro de CaF2	▪ Industria del aluminio

Tabla 1. Clasificación por grupos de materias primas alternativas. Holcim España.

3.6.- Control de emisiones y selección de residuos.

3.6.1.- Consideraciones previas. Control de emisiones.

Existen muchos tipos de residuos aptos como material sustitutivo. La discusión sobre ventajas e inconvenientes de algunos de ellos, así como los criterios de selección, componen el objetivo de este apartado.

Los recursos naturales empleados en la producción contienen contaminantes como metales pesados. La evaluación de los resultados derivados de la introducción de este tipo de materia prima debe afrontarse con un estudio de emisiones previo al cambio. Posteriormente, el sistema de control debe verificar las emisiones de los residuos seleccionados. Es obvio que las emisiones no deben ser mayores en comparación con un proceso sin materia de origen residual.

En relación a lo expuesto se critica el ámbito normativo. En muchos países, aun existiendo normas que regulan el control de emisiones industriales, el empleo de residuos como materia prima en el sector del cemento queda excluido del ámbito regulador.

3.6.2.- Selección de residuos.

A continuación se enumeran los criterios para seleccionar material de origen residual. Su relevancia hace que cualquier decisión deba estar basada en:

- El proceso de producción de clínker.
- Los compuestos de la materia prima y el combustible.
- Los puntos de alimentación deseados.
- El proceso de limpieza.
- La legislación vigente aplicable.
- El cumplimiento de la gestión de residuos.
- El valor aportado por los residuos: fijando el poder calorífico de la parte orgánica y obteniendo valor material de la parte mineral.
- El nivel de toxicidad de los contaminantes en los residuos.
- Alternativas de tratamiento para los residuos.

También deben ser considerados los esfuerzos dedicados a:

- Valorar el impacto en el contexto del desarrollo industrial de la región donde se lleva a cabo la actividad productiva.
- Valorar las acciones dedicadas a la convergencia con directivas Europeas. El objetivo es lograr la adaptación y flexibilidad de los recursos humanos y materiales de una forma menos costosa.

El material sustitutivo se agrupa según su procedencia como: residuos industriales, de origen animal y vegetal, y otros residuos. La gama de residuos es muy amplia, sin necesidad de limitarse a un tipo en concreto.

Tras una lista tan extensa de residuos surgen dudas sobre qué material escoger y qué estrategia desarrollar para garantizar un proceso de selección satisfactorio. Se introduce el "Diagrama de Aceptación-Rechazo", para ayudar a la toma de decisiones de trabajadores y responsables.

A modo exclusivamente de ejemplo, la siguiente figura muestra un diagrama de tal característica. En este caso, se trata de un modelo escueto con fines ilustrativos. Para desarrollar un modelo válido deben considerarse muchos escenarios.

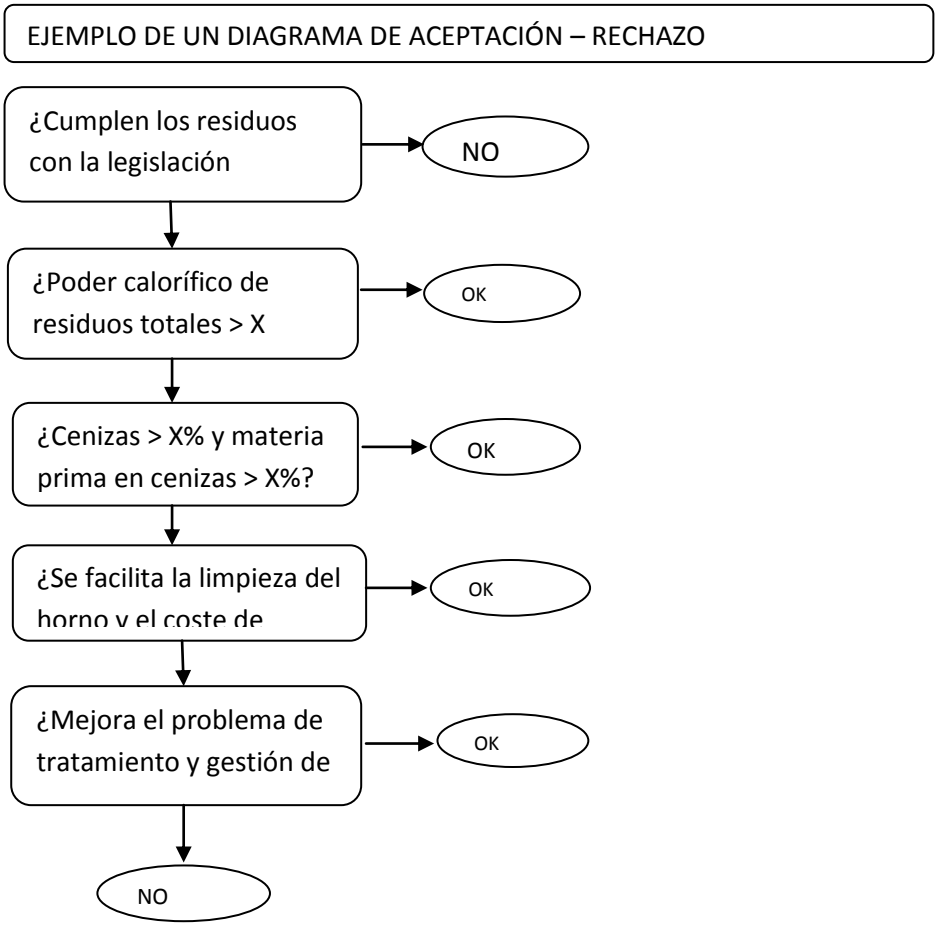

Figura 13: Ejemplo ilustrativo de un diagrama aceptación-rechazo. Holcim España.

Llegados a este punto, se plantea la posibilidad de introducir como alimentación al horno residuos considerados "peligrosos". De ser posible, los objetivos conseguidos serían:

- Eliminar la peligrosidad del residuo, reduciendo el riesgo.
- Obtener otra fuente de materia prima para alimentación.

Este tipo de residuos "especiales" son pesticidas obsoletos, productos farmacéuticos caducados, basura peligrosa de carácter municipal y también residuos hospitalarios. Generalmente es necesario aplicar fases previas de procesamiento antes de poner en marcha la valorización. Algunas técnicas de preprocesamiento son:

- Separación y clasificación.
- Inertización.
- Neutralización.
- Tratamiento térmico.

Nótese que la calidad de las entradas al horno repercute en el producto final.

3.6.3.- Exclusión de residuos. Justificación.

Como se ha expresado anteriormente, ciertos recursos no son aptos para la valorización energética. A continuación se procede a justificar y discutir el porqué de esa decisión.

Residuos electrónicos.

Son residuos como ordenadores, equipos de entretenimiento (videoconsolas, etc.), electrodomésticos, equipos de comunicaciones, entre otros.

La agencia ambiental suiza (BAFU) reveló que el promedio de desperdicio de residuos electrónicos está compuesto de la siguiente manera:

- 45% de metales pesados.
- 23% de plásticos.
- 20% de compuestos de tubo de imagen.

Se demostró que dichos desperdicios contienen sustancias nocivas para la salud humana y el medio ambiente, como cloro, níquel, mercurio y PCBs.

Aun así, la posibilidad de valorización sigue abierta. Actualmente se requieren operaciones excesivamente costosas debido al preprocesado necesario para tales residuos. La importancia de valorización radica en la recuperación de metales preciosos habitualmente escasos.

Baterías enteras.

Existen varios tipos de baterías según su clasificación por uso. Los componentes químicos encontrados en las baterías son plomo-ácido, níquel-cadmio, zinc-aire, alcalinas de manganeso, etc.

La principal desventaja es que dichas sustancias ocasionan efectos negativos en el cemento. Además las emisiones resultan perjudiciales para la salud y el medioambiente.

Afortunadamente la principal ventaja es la existencia de plantas dedicadas al reciclaje de este tipo de residuos, sin necesidad de que su destrucción esté exclusivamente en el sector cementero.

Residuos hospitalarios infecciosos y biológicamente activos.

A diferencia de los casos anteriores, las condiciones del horno rotatorio sí son adecuadas para tratar este tipo de residuos. Es decir, la valorización es apta como solución al destino final de los residuos hospitalarios.

La cuestión está en abordar la fuente del residuo y garantizar la seguridad en la cadena de suministro.

La valorización energética de tales residuos comprende una acción más a llevar a cabo una vez normalizada la cadena de suministro, de la cual por ahora no se han encontrado datos.

Ácidos minerales y corrosivos.

Son residuos como ácido clorhídrico, ácido nítrico, fosfórico, sulfúrico. Los componentes primarios de los mismos, azufre y cloro, tienen un impacto no deseado y negativo sobre la calidad del producto a obtener. Además de generar emisiones indeseadas y perjudiciales.

Por otro lado, la acción corrosiva aumenta el riesgo de deterioro de instalaciones de almacenamiento y transporte.

Explosivos.

La exclusión de explosivos tiene que ver con la seguridad de los trabajadores en la planta.

Se trata de material diseñado para reaccionar en forma de efecto pirotécnico. Por esta razón, en caso de conservar semejantes propiedades, el riesgo de accidente es muy elevado.

Como ejemplo se menciona la nitroglicerina, fusibles, bengalas, municiones,etc.

Asbesto.

Sobre este residuo existe controversia pues no hay estudios concluyentes sobre las ventajas e inconvenientes de su uso como material sustitutivo.

Tiene relación con el tratamiento de residuos hospitalarios, puesto que el horno rotatorio es un lugar adecuado para este residuo.

No obstante, el problema está en las personas que entran en contacto con asbesto. El riesgo está en la inhalación de las fibras que lo componen, penetrando en las defensas del cuerpo y generando posibles casos de cáncer.

Residuos radioactivos.

Los residuos radioactivos deben ser gestionados conforme a la legislación nuclear. Se trata de materiales que requieren permisos y acciones especiales para su uso.

En determinados países, se considera que no existe peligrosidad si la radiación del material no excede los 10 microsiemensv por año. En este caso, podría realizarse determinadas excepciones. Aun así, no existe acuerdo en la comunidad internacional ni procedimiento para obtener conclusiones firmes y relevantes sobre el empleo de este residuo.

3.6.4.- Reducción de impactos en una planta de valorización energética.

No todo es beneficioso en la valorización energética. Los residuos tratados y los procesos empleados también influyen en las emisiones a la atmósfera y en la contaminación de otros recursos.

Para reducir emisiones de polvo y VOC se emplean trampas de nitrógeno, además de tratamientos biológicos, térmicos y con carbón activado.

Para minimizar el impacto en agua y suelo se utilizan técnicas similares, como tratamientos físico-químicos, biológicos, térmicos, carbón activado y separadores. Todo ello depende del grado de contaminación de dichos recursos. Es muy importante que tras el proceso de depuración, los agentes vuelvan a ser incluidos en el proceso productivo.

Tratándose de tratamiento de residuos, la minimización de olores y ruidos influye en este tipo de plantas. Una medida interesante propuesta está en la implantación de lavadores de gases (en inglés, scrubbers), tanto húmedos como secos, para tratar los gases de combustión. La implementación de esta técnica resulta factible cuando las emisiones de óxidos de azufre son superiores a 1200 mg/m^3.

Los scrubbers consisten fundamentalmente en torres con una gran superficie de contacto, diseñadas con el objetivo principal de la absorción de gases. El gas candidato a ser depurado o lavado entra por la parte inferior de la torre y sale por la parte superior. La importancia de la superficie de contacto radica en que es ahí donde va a ser atomizada la solución limpiadora del gas, drenándose por gravedad para posteriormente

contribuir a su recirculación. Los porcentajes de eficiencia de esta solución dependen de lo siguiente:

- El diseño y material seleccionado de la superficie del lavador. Normalmente se construyen de plástico. La superficie debe garantizar que la mezcla del gas y de la solución limpiadora se produzca de manera propicia.
- La dimensión y profundidad de la superficie de contacto. Al aumentar hace que el tiempo de contacto entre gas y líquido sea mayor, beneficiando de esa forma el proceso de lavado.

Figura 14. Lavadores de gases en una planta industrial

3.7.- Otras consideraciones en la valorización energética de residuos.

Para finalizar este capítulo se mencionan ciertas consideraciones, no necesariamente técnicas, pero que influyen en la valorización energética. Se trata de establecer conexión entre todos los aspectos incidentes en la estrategia de valorización

3.7.1.- Retos institucionales y formativos.

La valorización de residuos presenta retos para todos los agentes involucrados en la actividad productiva cementera, desde trabajadores hasta empresarios.

Como ya se mencionó en el capítulo de procesos, la formación siempre está presente: en este caso como reto a medio plazo. Lograr la comprensión y desarrollar la capacidad de adaptación frente a los nuevos elementos técnicos introducidos en el sector, resulta fundamental para el desarrollo del mismo.

Otro reto está en las instituciones. Existen algunas guías sobre valorización. Eso es bueno. Sin embargo, si no se normalizan correctamente hay riesgo de confusión. En

España la legislación emana de tres tipos de administraciones públicas. Esto no debe suponer un problema ya que toda la legislación tiene que converger en las directivas europeas. De todos modos, se recomienda prestar atención cuando se introducen incentivos económicos: hay que evitar priorizar una norma sobre otra exclusivamente por motivos económicos.

3.7.2.- Realimentación y visibilidad de la cadena de valor interempresarial.

Las consideraciones de carácter no técnico sirven como elementos de realimentación de la cadena de valor propuesta en el capítulo dedicado los procesos.

Estas consideraciones refuerzan los argumentos para introducir tal cadena de valor. Las administraciones y los agentes con visibilidad en el sector deben estar involucrados.

Como elementos de control y supervisión se proponen los siguientes, a modo de realimentación:

- Recolección, análisis e interpretación de informes estadísticos sobre residuos.
- Actitud crítica frente a la formulación de políticas de gestión de residuos.
- Monitoreo y análisis de emisiones, así como de operaciones externas (transporte y distribución, por ejemplo).
- Desarrollar informes internos para evaluar los materiales introducidos en la valorización.
- Desarrollar protocolos de auditoría externa. El objetivo es notificar los defectos para que reviertan en los puntos débiles.

3.7.3.- Importancia de la comunicación.

Es un error no considerar la comunicación en un trabajo de ingeniería, pues minimiza las situaciones de confusión y deterioro de la imagen del sector.

La sensibilidad de la sociedad en temas de salud y medioambiente es cada vez mayor. Por eso, cuando se trabaja en este aspecto hay que cuidar el impacto que técnicas como el uso de residuos hospitalarios pueden provocar en la sociedad y en determinados colectivos.

Entonces, a modo de conclusión, se propone que además de los elementos mencionados anteriormente como realimentación, es preciso generar una envolvente comunicativa y de imagen, con el objetivo de evitar posibles campañas de ataque y desprestigio a la valorización de residuos.

3.8.- Principio "El que contamina paga".

El principio *"el que contamina paga"* se erige como la base del análisis económico de la valorización. En el siguiente capítulo, dedicado a los derechos de emisión de CO_2, se profundizará en este principio que se introduce a continuación. Para ello se abordará la *responsabilidad medioambiental* como elemento de financiación de la industria cementera en un futuro próximo.

4.- Mercado de CO_2.

4.1.- Introducción.

4.1.1.- Objetivos del capítulo.

El principal objetivo es abordar el comercio de derechos de emisión como elemento de financiación para la industria cementera. Esto es, se indagará sobre cómo incide el mercado del CO_2 en la financiación y captación de recursos económicos del sector.

El denominador común de los capítulos anteriores es la adaptación a nuevos escenarios de ahorro y eficiencia energética, poniendo de manifiesto la meticulosidad en el proceso y minimizando el impacto asociado. Es decir, teniendo en cuenta que en la industria cementera española esos nuevos escenarios no están totalmente desarrollados, se ha propuesto un nuevo modelo donde la valorización energética adquiera más protagonismo, todo ello apoyado en la reingeniería de procesos.

Es obvio que este nuevo modelo implica una gran inversión económica. Como se expuso en el capítulo de introducción, el sector del cemento no pasa por el mejor momento. Con la grave crisis que sufre esta industria resulta muy complicado financiar estos requerimientos.

Es en este momento donde entra en juego el comercio de derechos de emisión. La caída de la producción hace que exista un excedente de emisiones de gases de efecto invernadero (a partir de ahora, GEI) que debe aprovecharse. El mecanismo ejercitado será la venta de esos derechos en el mercado de CO_2. Así, una industria secundaria satisface la demanda, mientras que otra, la del cemento, dedica ese capital a una inversión en la reingeniería de procesos. Esa es la idea principal.

Dicho esto, se explicarán los mecanismos básicos que regulan el mercado de CO_2, con el objetivo de cuantificar el capital económico en que se incurre al comercializar los derechos.

Finalmente, se expondrán conclusiones sobre la incidencia de los Planes Nacionales de Asignación en el sector. Gracias a las opiniones de responsables de la industria cementera y la discusión mantenida, se plasmará una visión teórica-profesional sobre los principales aspectos, positivos y negativos, de este mecanismo de comercialización de dióxido de carbono.

4.1.2- Actuaciones contra el cambio climático. Vías alternativas del Protocolo de Kioto.

"Las partes en la presente Convención, (…)

(…)Preocupadas porque las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra y puede afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad" [21]

El mayor problema que presenta la industria es el impacto de las emisiones de GEI en el medioambiente.

De la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático nace el Protocolo de Kioto. Este protocolo compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. [22]

El Protocolo de Kioto (PK para abreviar) fue estructurado en función de los principios de la Convención. Establece metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años. En este sentido el protocolo tiene un principio central: el de la *responsabilidad común pero diferenciada*.

El Protocolo de Kioto permite a los países que usen dos vías alternativas a la reducción de emisiones propias para cumplir con dichos acuerdos. Estas son:

- Sumideros de GEI. Ampliando los bosques y la masa forestal para eliminar el CO_2 de la atmósfera.
- Mecanismos de flexibilidad. Existen tres tipos: Comercio de derechos de emisión, Aplicación Conjunta (AC) y Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Gracias al comercio de derechos de emisión se establece que un país venda parte de su cuota de emisión no usada a un segundo país.

En este proyecto se estudiará la segunda vía alternativa, concretamente el Comercio de derechos de emisión, que posteriormente dará lugar a lo denominado como *Mercado de CO_2*.

4.1.3.- De Kioto a Europa.

"La Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE, constituye, dentro del Programa Europeo de Cambio Climático, la iniciativa más relevante de la Unión Europea (UE) para lograr que la Comunidad y sus Estados miembros puedan cumplir el compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que asumieron al ratificar el Protocolo de Kioto en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el 30 de mayo de 2002" [23]

Con la Directiva 2003/87/CE se crea el primer mercado internacional de comercio de emisiones de CO_2 en la Unión Europea. Así, quedaba modificada la Directiva 96/61/CE y se establecía un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en el interior de la Comunidad (European Union Emissions Trading Scheme, EUETS). [23]

La Directiva 2009/29/CE fue transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante la Ley13/2010, de 5 julio, que enmienda la ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula

el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en España.

A partir de aquí, aparecerá nueva normativa, especialmente referente a los Planes Nacionales de asignación de derechos de emisión, mecanismo en el que se hará hincapié a lo largo del capítulo. Se introduce en el siguiente apartado.

4.2.- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión. Fases de aplicación.

Primera Fase: comprendida entre el 1 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2007. Fue una fase piloto de tres años de "aprendizaje práctico" preparatoria para la segunda fase, que era la fase crucial. Durante ese tiempo se estableció un precio para el carbono, se definió el libre comercio de derechos de emisión en toda la UE y se creó la infraestructura necesaria para controlar, registrar y verificar las emisiones reales de las empresas afectadas.

Segunda Fase: comprendida entre el 1 de enero de 2008 y el 31 de diciembre de 2012. Coincide con el "primer período de compromiso" del Protocolo de Kioto, un período de cinco años durante el que la UE y sus Estados miembros tuvieron que cumplir los objetivos de emisiones de dicho Protocolo. La Comisión redujo el volumen de los derechos de emisión permitidos en esta fase en un 6,5% con respecto a los niveles de 2005, con la intención de garantizar las reducciones reales en las emisiones.

Tercera Fase: durará ocho años, desde el 1 de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2020. Este período de comercio ampliado contribuirá a que aumente la previsibilidad necesaria para promover inversiones a largo plazo en la reducción de emisiones.

4.2.1.- Aspectos principales en el comercio de derechos de emisión dentro de los Planes Nacionales de asignación.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que un derecho de emisión equivale a una tonelada de CO_2 emitida.

Tras la implantación del mercado, se ha demostrado que el precio del derecho de emisión es muy volátil. De esta característica se escribirá posteriormente.

Existen muchas variables que le afectan. Como propias, se ve afectado por la climatología y la demanda de electricidad asociada, aumentando el precio del derecho con el mal tiempo (al tener que generar electricidad quemando carbón, por ejemplo), y bajando con la mejora del mismo. También la subida del precio de materias primas como el petróleo, carbón y gas afectan directamente a la evolución del precio del derecho. No obstante, existen ciertas variables políticas a considerar, como la aprobación del los diferentes Planes Nacionales de asignación y la puesta en marcha de las estrategias correspondientes son los aspectos que más han influido en las expectativas de los participantes y por lo tanto en el precio. Este último aspecto es

importante, ya que puede ser el origen de la distorsión en el mercado. Se abordará en apartados posteriores.

4.3.- Emisiones frente a asignación de derechos. De los datos a la información.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se estudiarán las asignaciones de CO_2 a la industria cementera con respecto a la emisión, en un mismo período de tiempo. Es decir, se contrapondrán ambos datos, para que de este modo pueda generarse información susceptible de obtener conclusiones y analizar las perspectivas del desarrollo con este mecanismo de asignación.

Los datos obtenidos se presentan gracias a las siguientes fuentes principales:

- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, organismo dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente.
- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión, en sus diferentes períodos. Normativa recogida en los números del Boletín Oficial del Estado referenciados en cada caso.

4.3.1- Emisiones por actividad industrial en el sector del cemento. Período 2001-2011.

Se presentan a continuación las emisiones de CO_2 en la industria cementera española. Los datos a los que se ha tenido acceso comprenden desde el año 2001 hasta el 2011.

4.3.1.1.- Fabricación de cemento o clínker en hornos rotatorios con capacidad superior a 500 toneladas/día.

Año	Atmósfera(t/año)
2011	15.026.095,89
2010	17.888.157,90
2009	17.578.475,35
2008	22.979.293,07
2007	24.411.000,00
2006	26.445.000,00
2005	23.792.000,00
2004	26.478.000,00
2003	22.277.000,00
2002	16.971.000,00
2001	24.813.185,00

Tabla 2. Fabricación de cemento o clínker en hornos rotatorios con capacidad superior a 500 toneladas/día. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.

4.3.1.2.- Fabricación de cemento, clínker o cal en hornos de otro tipo con capacidad superior a 50 toneladas/día.

Año	Atmósfera(t/año)
2011	616.443,00
2010	612.577,00
2009	594.643,45
2008	829.000,00
2007	866.000,00
2006	739.000,00
2005	661.000,00
2004	705.000,00
2003	700.000,00
2002	567.000,00
2001	613.000,00

Tabla 3. Fabricación de cemento, clínker o cal en hornos de otro tipo con capacidad superior a 50 toneladas/día. *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.*

4.4.- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión 2005-2007.

En el marco del primer Plan Nacional de Asignación (PNA I), la industria española obtuvo una serie de derechos de emisión, es decir, capacidad de emitir a la atmósfera toneladas equivalentes de CO_2. Concretamente, en el sector del cemento, dicha asignación se refleja en la siguiente figura:

Sector	1990	2000	2001	2002	Promedio 2000-2002		Asignación en el período 2005-2007	Asignación Promedio anual 2005-2007
	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	PM/90	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2
6. Instalaciones de fabricación de cemento sin pulverizar («clinker») en hornos rotatorios con una producción superior a 500 toneladas diarias, o de cal en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día.	22,72	27,08	27,76	28,78	27,87	22,68%	89,973	29,991
Cemento	21,14	24,99	25,68	26,58	25,75	21,81%	82,605	27,535
Cal	1,58	2,09	2,08	2,20	2,12	34,39%	7,368	2,456

Figura 15. Asignación derechos de emisión en el sector cemento. Período 2005-2007. BOE.

La asignación promedio anual en el trienio fue de 27,535 millones de toneladas de CO_2 equivalentes.

Por otro lado, las emisiones del sector cementero fueron inferiores a la cantidad anual asignada. La contabilidad de estas emisiones se desprende del siguiente desglose por actividad productiva cementera:

A. Fabricación de cemento o clínker en hornos rotatorios con capacidad superior a 500 toneladas diarias.
B. Fabricación de cemento, clínker o cal en hornos de otro tipo con capacidad superior a 50 toneladas diarias.

Los resultados, expresados en toneladas de CO_2 por año, se muestran a continuación:

Emisiones CO_2 industria cementera (t/año)	**2005**	**2006**	**2007**
A	22.280.000	24.995.000	24.411.000
B	661.000	739.000	866.000
Total	**22.941.000**	**25.734.000**	**25.277.000**

Tabla 4. Emisiones CO2 industria cementera. Período 2005-2007. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. MAGRAMA

Reflejados los datos de asignación y emisión anuales, basta hacer la diferencia entre ambos para obtener información.

Se comprueba que en el PNA I, el sector del cemento generó un excedente de derechos de emisión, expresado en toneladas de CO_2 por año, que asciende a las siguientes cantidades:

	Asignación	Emisión	Excedente
2005	27.535.000	22.941.000	**4.594.000**
2006	27.535.000	25.734.000	**1.801.000**
2007	27.535.000	25.277.000	**2.258.000**
Total	**82.605.000**	**73.952.000**	**8.653.000**

Tabla 5. Comparación entre asignación y emisión en el sector del cemento para obtener el excedente de derechos de emisión. Período 2005-2007. Elaboración propia.

4.4.1.- Conclusiones. Pérdida de oportunidades y volatilidad en el mercado.

El excedente obtenido es inferior al que se generará en años sucesivos. En total asciende a 8.653.000 toneladas de CO_2 equivalente, en todo el trienio y en el conjunto del sector.

No resulta factible sacar conclusiones sobre qué puntos y cómo se invirtió exactamente ese excedente de derechos. Para ello, haría falta un inventario de acciones por parte de las empresas productoras y tener acceso a los planes estratégicos de aquel período, entre otros documentos. De todo esto, no se ha encontrado información relevante publicada y los datos con los que se cuenta son demasiado ambiguos para garantizar un análisis de este tipo.

Pese a esto, se destacan dos factores los cuales contribuyeron a lastar el sector actualmente: la gestión ineficiente de los derechos y la volatilidad del mercado.

4.4.1.1.- Pérdida de oportunidades. Gestión ineficiente de los derechos de emisión.

Las asignaciones de derechos de emisión del PNA I se legislaron antes de que se manifestara el pico de producción del sector, propiciado por el auge de la demanda en la construcción. Por tanto, era de esperar que en este período se generase un déficit de asignación, y no excedente.

La explicación reside en que determinadas fábricas tuvieron que parar su producción, disminuyéndola un 25% aproximadamente en algunos casos. Todo esto con el objetivo de adaptarse a las Mejores Técnicas Disponibles, así como a abordar la introducción de combustibles alternativos.

Lo narrado es muy significativo, volviéndose a refrendar la misión del proyecto: demostrar que en la época de mayor carga productiva, no todas las plantas cementeras tenían implementadas técnicas eficientes de reducción de emisiones, produciendo en algunos casos no en las mejores condiciones. [24]

También se demuestra que el incentivo económico materializado en el Mercado de CO_2 funcionó: se consiguió el interés de las empresas por ahorrar en emisiones contaminantes y generar beneficio económico con ello. Así, indiscutiblemente, tuvieron que adaptar sus procesos a otros que minimizasen las emisiones de dióxido de carbono.

Dicho esto, el escenario que se planteó, y las oportunidades perdidas, se sucedieron de la siguiente manera:

En el período de demanda creciente de la producción debieron ahorrarse emisiones de CO_2 gracias a determinadas técnicas y uso de combustibles alternativos. Sin embargo, dichas acciones no estuvieron totalmente desarrolladas e implantadas en las plantas de producción. Por este motivo, es cierto que se alcanzó el ahorro en emisiones contaminantes pretendido, pero porque determinadas empresas tuvieron que parar forzosamente su producción para adaptarse a los cambios.

Este hecho propició una descoordinación de la estrategia prevista a largo plazo, y se sitúa como unos de los causantes de las abultadas pérdidas de producción que actualmente se registran. En definitiva, se perdió la oportunidad de ajustar la producción y las previsiones para años venideros, y sólo se asumió el ahorro de dióxido de carbono por la imposibilidad de aguantar la producción en condiciones ineficientes.

4.4.1.2.- Evolución precios del Mercado PNA I.

Antes de introducir la segunda conclusión, conviene destacar los principales valores del mercado de CO_2 en el periodo 2005-2007. La importancia de estudiar los precios del mercado está en la evaluación del rango de beneficio económico, para su posterior valoración en las conclusiones.

4.4.1.2.1.- Evolución precio mercado: año 2005.

La siguiente figura ilustra la evolución mensual del valor del derecho de emisión en el año 2005 y el primer trimestre de 2006.

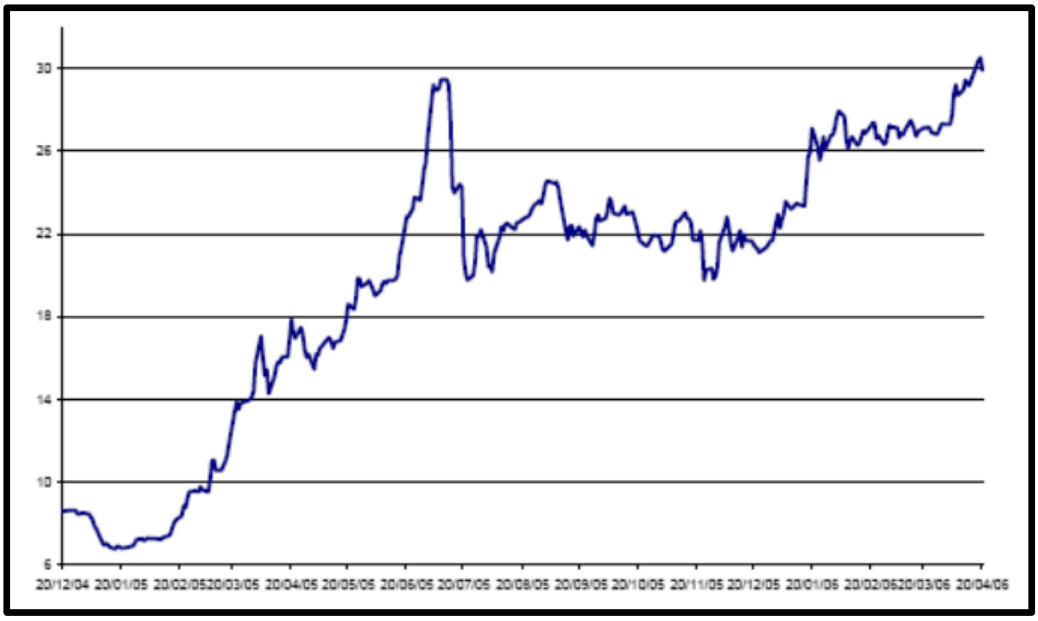

Figura 16. Evolución de los precios del mercado de CO2 en el año 2005. SendeCO_2.PointCarbon.

4.4.1.2.2.- Evolución precio del mercado: año 2006.

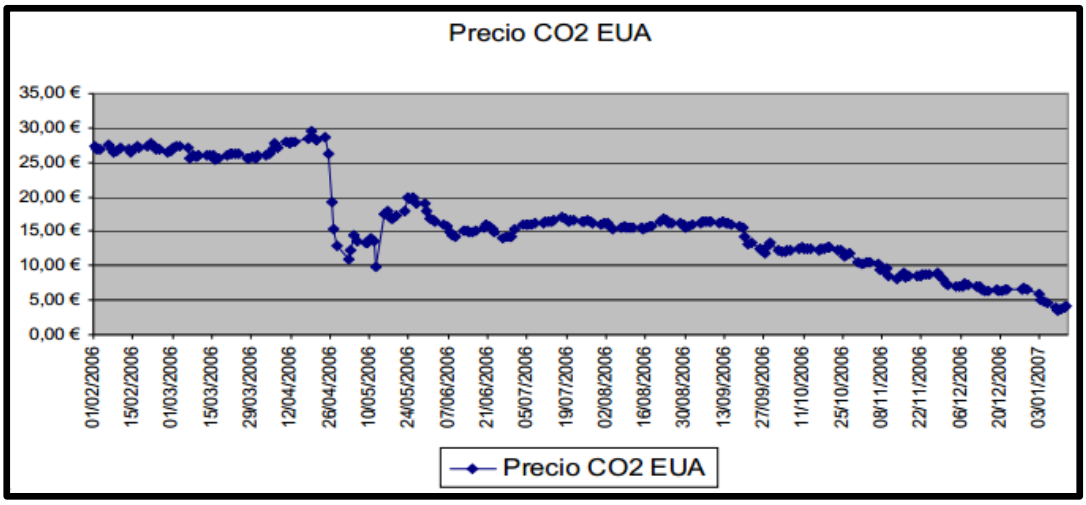

Figura 17. Evolución de los precios del mercado de CO2 en el año 2006. SeneCO_2.PointCarbon.

4.4.1.2.3.- Evolución precio del mercado: año 2007.

La siguiente figura ilustra la evolución mensual del valor del derecho de emisión en el año 2007.

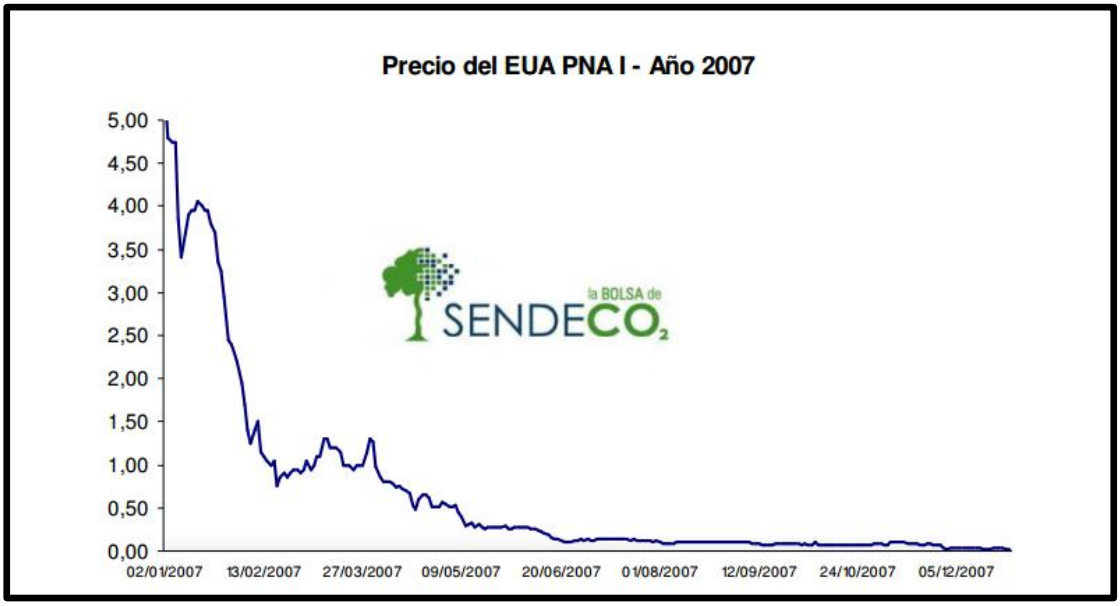

Figura 18. Evolución de los precios del mercado de CO2 en el año 2007. SeneCO_2.PointCarbon.

4.4.1.3.- Volatilidad en el mercado.

Como se observa en la última figura, los precios de los derechos del PNA I, finalizaron en 2008 con un valor de 0,01€/tonelada de CO_2.

La principal conclusión es la gran cantidad de derechos asignados a la industria, en un mercado donde se pretendía generar la sensación de escasez. Es decir, se sobredimensionó la asignación.

Destaca que en el año 2006 las emisiones reales de las empresas industriales afectadas por el PNA I se redujeron en un 3,2% respecto al año anterior. No obstante, en 2007, las mismas emisiones se incrementaron un 1%. Este hecho se explica con el precio medio del año 2007, que fue de 0,69€/tonelada: obviamente el coste de emitir CO_2 fue considerablemente bajo.

Con los datos mostrados de la evolución del precio en el trienio, para hacer un balance económico basta con reflejar los tres escenarios más intuitivos: caso más favorable (precio máximo), caso conservador (precio medio) y caso desfavorable (precio mínimo). No obstante, no es relevante dicho análisis por una razón fundamental: las empresas

tuvieron que anticiparse y tomar decisiones, asumieron el riesgo de comprar y vender en momentos poco recomendables. Ante todo, se refleja como segunda conclusión la pérdida económica debido a las fluctuaciones del mercado propiciada por la volatilidad del valor del derecho de emisión.

4.4.2.- Aspectos a considerar. Reflexión sobre la distorsión del mercado.

Nótese la gran diferencia entre los precios pagados en 2005 y 2006 con los precios de finales de 2007. Este aspecto no resulta adecuado y es perjudicial para el funcionamiento del mercado, ya que irremediablemente se genera una perspectiva subjetiva sobre las emisiones, asignándosele un coste diferente dependiendo del momento y de ciertas circunstancias externas. Llegados a este punto, viene a colación la siguiente reflexión:

Desde un primer momento, se estable como objetivo principal de la creación de una bolsa europea de derechos de emisión de CO_2, premiar la inversión en procesos eficientes y menos contaminantes y encarecer aquellas que basen sus modelos en procesos altamente contaminantes. Así pues, en el informe de SendeCO_2 de 2005, probablemente por los buenos resultados conseguidos ese año, se afirmaba lo siguiente:

"Son muy buenas noticias que participantes no directamente afectados como los bancos hayan accedido al mercado de forma agresiva involucrándose con su típico espectro de productos (fondos de carbono, carbon finance, etc.), aumentando así la transparencia general del mercado y el interés del inversor institucional, lo cual fomenta inversiones en mejoras productivas o nuevos proyectos de inversión que mejoran la situación medioambiental" [25]

Es aquí donde se discrepa fuertemente con lo relatado. Es bueno que agentes externos intervengan, pero siempre que lo hagan bajo una estricta normativa que garantice el estímulo, y no la intromisión.

El problema aparece, y es lo que ha sucedido, cuando el objetivo de disminución de CO_2 y cumplimiento de Kioto, pierde su sentido en favor de agentes y condiciones externas, como son una regulación del mercado ambigua y su repercusión en las bolsas financieras de todo el mundo.

4.5.- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión 2008-2012.

El Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012 (PNA), aprobado por el Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, establece para el quinquenio 2008-2012 la cantidad total de derechos que se prevé asignar a las instalaciones. Nuevamente se destaca la industria del cemento. La siguiente figura muestra la asignación promedio anual, expresado en millones de toneladas de CO_2.

Sector	Emisiones							Asignación		
	1990	2000	2001	2002	2005	Promedio 2000-2005		Asignación efectiva en 2005 (1)	Asignación Promedio anual 2005-2007	Asignación Promedio anual 2008-2012
	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	PM/90	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2	Mill. Tm CO_2
6. Instalaciones de fabricación de cemento sin pulverizar («clinker») en hornos rotatorios con una producción superior a 500 toneladas diarias, o de cal en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día.	22,72	27,08	27,76	28,78	29,45	28,27	24,4%	30,292	29,991	31,427
Cemento.	21,14	24,99	25,68	26,58	27,38	26,16	23,7%	27,836	27,535	29,015
Cal.	1,58	2,09	2,08	2,20	2,06	2,11	33,4%	2,456	2,456	2,412

Figura 19. Asignación derechos de emisión en el sector cemento. Período 2008-2012. BOE.

Análogamente, las emisiones de CO_2 contabilizadas en ese periodo de tiempo se desglosaron de la siguiente manera, para el sector del cemento:

A. Fabricación de cemento o clínker en hornos rotatorios con capacidad superior a 500 toneladas diarias.

B. Fabricación de cemento, clínker o cal en hornos de otro tipo con capacidad superior a 50 toneladas diarias.

Los resultados, expresados en toneladas de CO_2 por año, se muestran a continuación:

Emisiones CO2 industria cementera (t/año)	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
A	22.979.293,07	17.578.475,35	17.888.157,90	15.026.095,89
B	829.000,00	594.643,45	612.577,00	616.443,00
Total	**23.808.293,07**	**18.173.118,80**	**18.500.734,90**	**15.642.538,89**

Tabla 6. Emisiones CO2 industria cementera. Período 2008-2012. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. MAGRAMA

	Asignación	Emisión	Excedente
2008	29.015.000,00	23.808.293,07	**5.206.706,93**
2009	29.015.000,00	18.173.118,80	**10.841.881,21**
2010	29.015.000,00	18.500.734,90	**10.514.265,10**
2011	29.015.000,00	15.642.538,89	**13.372.461,11**
Total	**116.060.000,00**	**76.124.685,66**	**39.935.314,35**

Tabla 7. Comparación entre asignación y emisión en el sector del cemento para obtener el excedente de derechos de emisión. Período 2008-2012. Elaboración propia.

4.5.1.- Evolución precios del Mercado PNA II.

De igual forma que en el apartado anterior, es interesante observar los precios del mercado en el quinquenio de estudio. En este caso, se refleja a continuación el precio del derecho a fecha de último cierre del mercado.

Los precios se expresan en euros por tonelada adquirida.

Año 2008	EUA	CER
	15,30 €	13,55 €
Último cierre	2,00%	3,04%
Año 2009	EUA	CER
	12,28 €	11,34 €
Último cierre	1,57%	-0,70%
Año 2010	EUA	CER
	13,90 €	12,00 €
Último cierre	1,31%	-1,64%
Año 2011	EUA	CER
	6,65 €	4,21 €
Último cierre	-3,34%	-4,10%
Año 2012	EUA	CER
	6,37 €	0,15 €
Último cierre	-0,47%	-25,00%

Tabla 8. Precios en euros por tonelada del derecho de emisión a último cierre. Período 2008-2012. SendeCO$_2$

Figura 20. Evolución de los precios del mercado de CO2. Período 2008-2012. SendeCO$_2$.

4.5.2.- Aspectos significativos y conclusiones.

El año 2009 fue complicado en el mercado de CO_2. La crisis económica mundial provocó, en términos generales, un descenso de la producción industrial europea del 15%.

A pesar de la incertidumbre, propia de las indecisiones políticas del momento, existieron otros aspectos que afectaron a la evolución del mercado. Tras un primer trimestre donde la correlación habitual con el precio del petróleo estuvo distorsionada, el precio subió y el volumen de negocio a lo largo del 2009 se incrementó un 70% respecto al 2008, alcanzando una media de precio entre 12-14€. La demanda y la oferta se mantuvieron bastante estables especialmente a partir del segundo trimestre alcanzándose máximos aislados de 15€ y mínimas en torno a 10€. La desaceleración económica y el descenso del precio del gas natural favorecieron un incremento de la oferta en el mercado, lo que podría haber significado precios del CO_2 sustancialmente más bajos.

En España, la crisis afectó especialmente a las industrias incluidas en el PNA II. En concreto, los sectores vinculados a la construcción sufrieron descensos de producción superiores al 60%. El excedente del sector industrial en 2009 se situó en torno al 15% de su asignación o, lo que es lo mismo, en unos 15 millones de toneladas.

En el sector del cementero, la demanda descendió un 33% y la producción de las fábricas un 30,5% hasta quedar en 29,3 millones de toneladas. En cuanto a la producción de clinker el descenso se situó en torno al 21%.

Teniendo en cuenta que la asignación de derechos de emisión del sector cementero es de 29 millones, de las tablas mostradas anteriormente se extrae que el ahorro de emisiones se situó en torno al 35% de su asignación. [26]

Como principal conclusión de este período destaca el ahorro en emisión de toneladas de CO_2 en el sector y su relación con el Plan Nacional de Asignación anterior. Realmente, este ahorro vuelve a no estar fundamentado en la optimización de procesos eficientes y limpios, sino en el desplome del negocio.

Aun así, si ese período no se utilizó para invertir lo suficiente en reingeniería de procesos y en combustibles alternativos (entre otras alternativas comentadas a lo largo del proyecto), la situación de las plantas cementeras no será factible para adentrarse a competir en la tercera fase del Plan Nacional de asignación.

La importancia de la conclusión anterior es válida para introducir el siguiente apartado. A partir de ahora, se plantea un recorte considerable en la asignación de derechos y desde la comisión europea se baraja una serie de escenarios que seguro influirán en la industria y concretamente, en las cementeras.

4.6.- Plan Nacional de asignación de derechos de emisión 2013-2020. Perspectivas.

En primer lugar, con respecto a la asignación gratuita de derechos de emisión a instalaciones existentes, hay que saber que el proceso de asignación que abarca desde 2013 hasta 2020 se encuentra todavía en fase de desarrollo.

Actualmente, las autoridades competentes no han facilitado ningún dato oficial sobre el desglose sectorial de las asignaciones para la tercera fase del PNA. No obstante, consta un documento preliminar de estudio, donde se refleja la previsión de asignación individualizada por cada planta industrial. [27]

En el sector del cemento, se comprueba que las plantas industriales que han sobrevivido a la crisis, mantienen una asignación anual bastante considerable y constante en todo el periodo de tiempo. Como ejemplo, se citan varias instalaciones incluidas:

				Asignación total preliminar							
Código Notificación	Instalación	Localidad	Comunidad Autónoma	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ES000000000000012	Sociedad de Cementos y Materiales de Construcción de Andalucía - Córdoba	Córdoba	Andalucía	539.659	539.659	539.659	539.659	539.659	539.659	539.659	539.659
ES000000000000013	Sociedad de Cementos y Materiales de Construcción de Andalucía - Niebla (Huelva)	Niebla (Huelva)	Andalucía	366.803	366.803	366.803	366.803	366.803	366.803	366.803	366.803
ES000000000000014	Sociedad Financiera y Minera S.A. Cementos Goliat	Málaga	Andalucía	658.998	658.998	658.998	658.998	658.998	658.998	658.998	658.998

Figura 21. Propuesta de Asignación derechos de emisión en el sector cemento. Período 2013-2020. BOE.

Las asignaciones preliminares mostradas e incluidas en el documento de referencia no son definitivas. Una vez cumplidos todos los trámites y finalizado el escrutinio por parte de la Comisión Europea, corresponderá al Consejo de Ministros adoptar, a propuesta de los Ministerios de Economía y Competitividad, de Industria, Energía y Turismo, y de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la decisión final de asignación.

4.6.1.- Medidas de corrección de las asignaciones.

"Es normal que en un mercado del carbono exista cierto nivel de excedentes, de ahí las diferencias entre el límite máximo y las emisiones. Ahora bien, con un excedente que ya en 2011 prácticamente alcanzaba los mil millones de derechos de emisión, existe el riesgo real de que el correcto funcionamiento del mercado del carbono quede comprometido por la excesiva fluctuación de precios ocasionada por el exceso de oferta adicional de derechos de emisión a corto plazo." [27]

Actualmente no existen datos de emisión ni de asignación. El único dato objetivo proviene de la patronal cementera. En los informes mensuales y anuales, el volumen de negocio continúa cayendo, y las previsiones no incluyen ningún tipo de mejora por el momento.

Unido a todo esto, el precio del derecho de emisión continúa en descenso, pues desde comienzos de 2013 apenas ha superado el umbral de los cuatro euros.

Con el fin de hacer frente a este desequilibrio estructural creciente entre la oferta y la demanda, la Comisión Europea ha elaborado seis opciones con medidas estructurales. No está en el alcance del proyecto abordar y explicar cada una de ellas. Pese a esto, es interesante nombrarlas de cara a obtener conclusiones para abordar con fundamentos las perspectivas del sector.

Las propuestas son las siguientes: [27]

a) Incrementar hasta un 30% el objetivo de reducción de emisiones establecido por la UE para 2020.
b) Retirar cierto número de derechos de emisión en la tercera fase.
c) Revisión anticipada del factor de reducción lineal anual.
d) Ampliación del ámbito de aplicación del RCDE de la UE a otros sectores.
e) Limitar el acceso a los créditos internacionales
f) Mecanismos discrecionales de gestión de precios.

4.7.- Conclusión.

Sin lugar a duda, el denominador común de todas las propuestas mencionadas anteriormente es el ajuste y la reducción en la asignación de derechos.

La conclusión de este apartado debe quedar ineludiblemente relacionada con los anteriores, como se expone a continuación.

Desde el PNA I, se destacó la descoordinación surgida debido al auge del sector inmobiliario y a la lentitud en la adaptación a mejores tecnologías. Esto supuso un lastre que se materializó en el segundo período del plan de asignaciones, ahorrando por desplome del sector fundamentalmente.

Dicho esto, con la implementación de la tercera fase del PNA, debe plasmarse forzosamente el escenario general introducido por este proyecto fin de carrera: la reducción de las emisiones contaminantes, especialmente de CO_2 a la atmósfera, esta vez, de manera deseable, desde la implantación de procesos y técnicas eficientes. Todo ello sin olvidar que la valorización energética y el uso de combustibles alternativos adquieran mayor peso en la producción, de la mano de la cadena de valor interempresarial propuesta.

Este escenario llega tarde. Debió implementarse en el quinquenio 2008-2012. Pese a estas desavenencias, la industria del cemento no puede perder la oportunidad de esta tercera fase, en la que todavía va a contar con asignación gratuita, como todo apunta según los informes preliminares.

El objetivo no es lograr una producción pico como en determinados años anteriores a la crisis. Lo deseable es ajustar la producción de manera sostenible, de forma que la mayor parte del peso en ahorro de emisiones recaiga sobre la adaptación a las mejores técnicas disponibles, y no a las constantes pérdidas de volumen de negocio.

4.8.- Sobredimensionamiento del mercado de derechos de emisión.

Desde el comienzo del comercio de derechos, la industria del cemento ha producido un excedente en toneladas de CO_2 equivalentes. Evidentemente, esta es la idea básica, pues se consigue liquidez económica donde no la hay, especialmente en tiempos de crisis, como se ha explicado en apartados anteriores.

Sin embargo, llegados a este punto de conclusiones, se quiere resaltar el problema que se deriva de este sobredimensionamiento del mercado. Conviene ser muy cuidadoso con las previsiones que se hagan a partir de ahora, pues no es bueno seguir generando excedente de derechos, ya que ese escenario finalmente repercute en los impuestos del ciudadano y acabaría también afectando al sector industrial en general. Además, no es recomendable que en períodos donde la producción cae al mínimo, se obligue a determinadas plantas productoras a producir al menos el 51% de su capacidad, para así poder acogerse a la asignación de derechos. Este hecho se demuestra como distorsionador del mercado, repercutiendo negativamente en el objetivo primario de cuidado del medioambiente, pues se alienta el factor especulativo.

Se aprovecha este razonamiento para introducir el siguiente apartado, donde se destacan aspectos influyentes del sector eléctrico con respecto al cementero.

4.9.- Impacto del mercado eléctrico en el desarrollo del sector. Déficit tarifario, energías renovables y servicio de interrumpibilidad.

Las empresas con grandes consumos de energía eléctrica se agrupan en una asociación para defender sus intereses (AEGE). Según los estatutos de dicha asociación, el mínimo consumo para poder pertenecer a la misma es de 100 GWh, siendo el promedio entre todas de 1 TWh por empresa. Los sectores en los que se agrupan son los siguientes: cementos, gases industriales, metales, química básica y siderurgia. Como se puede observar, esta asociación comprende gran cantidad del espectro industrial español, concretamente, el del cemento, sector de estudio de este proyecto.

Los grandes consumidores tienen una fuerte incidencia en el comportamiento del sistema eléctrico. Las características básicas del consumo de estas grandes empresas se derivan de aspectos como el ratio punta/valle, el cual en el sistema es del orden de 2, mientras que para las empresas de AEGE se sitúan en torno al 0.67. Además, el patrón de consumo es bastante predecible, repitiéndose prácticamente día a día, lo cual es favorable al funcionamiento del sistema y además contribuye a aplanar la curva de la demanda.

Los grandes consumidores apelan a una revisión de las tarifas de acceso, rebajando y suavizando el coste de la energía eléctrica, no incluyéndose costes como los de las primas a las energías renovables, proponiendo que dichos costes se saquen en una partida presupuestaria diferente y que no se impongan a todos los consumidores.

Es latente por parte del sector, la preocupación por la posible influencia negativa del aumento del déficit tarifario, que alguien alguna vez tendrá que pagar. Con toda probabilidad, los consumidores, sin excepción entre grandes o pequeños.

Para los grandes consumidores es muy importante el hecho de que se les vendiese la energía a un precio especial, más bajo, como ya se hace en otros países de la Unión Europea.

En contraposición a todas estas medidas deseadas y propuestas y que, según los grandes consumidores, serían muy satisfactorias para el desarrollo de las empresas, actualmente la única forma que tienen para compensar los altos costes de producción derivados de la materia prima, es siendo proveedor del servicio de interrumpibilidad. Mediante este servicio, se cede el derecho a ser interrumpido en el consumo durante un determinado número de horas, a cambio de una prestación económica. El principal problema es que en el sector cementero, ciertas plantas, como la de Yeles, ni siquiera pueden ser ya interrumpibles, pues la producción ha caído tanto que no cumplen los requisitos para proveer el servicio.

Finalmente, vuelve a imponerse el deseo de consolidar un marco energético estable y predecible lo antes posible, debido al incipiente riesgo de pérdida de competitividad y daño a empresas y al sector industrial, además de encontrar una solución al dilema de las tarifas de acceso y a la inclusión del coste del déficit tarifario, las primas a las

renovables, etc., lo cual lastran los productos por medio del aumento de los costes de producción.

4.10.- Futuro en el sector del cemento.

A nivel de negocio, la financiación en el momento actual, es un aspecto muy relacionado con el futuro y posterior desarrollo del sector. Tras la discusión mantenida con el responsable de la fábrica visitada, este hecho ha sido complementado con los escenarios que se exponen a continuación.

Inversión en infraestructuras. Últimamente, desde el Ministerio de Fomento, se ha procedido a paralizar en gran medida los proyectos de ejecución y licitación de obra pública en nuestro país. Son de sobra conocidos los casos de proyectos aeroportuarios y ferroviarios (entre muchos de otra índole) ya ejecutados y que no han aportado nada con respecto al alcance con el que fueron proyectados.

Semejantes proyectos continuarán siendo improductivos para la sociedad. Es una afirmación rotunda, pues fueron diseñados fuera del análisis estratégico en relación con el impacto económico que podrían haber generado. Es ahí donde se encuentra el error.

Sin embargo, aún queda mucho por hacer. España, un país con un sector servicios preponderante frente a los demás, y con el turismo como principal motor económico, no puede dejar de invertir en infraestructura. Eso sí, siempre teniendo presente que lo fundamental de licitar obra pública debe recaer sobre la responsabilidad de vertebrar sectores económicos e impactar positivamente en ellos. Es cuestión de proyectar con racionalidad.

Citando un conocido ejemplo, veinte años después de la puesta en marcha del tren de alta velocidad, resulta objetivo afirmar que ha sido un éxito. Se han creado puestos de trabajo además de la riqueza y el conocimiento generados. También, se ha despertado la curiosidad y las posibilidades de inversión de terceros países han aumentado en el producto por el que se apostó.

Internacionalización. Ante una situación de demanda interna decreciente, las empresas del sector se lanzan a competir en el extranjero. Este aspecto ya se ha comentado en capítulos anteriores. Sin embargo, es relevante volver a introducirlo aquí puesto que está totalmente ligado con la inversión en infraestructura.

La balanza comercial de España registra que las exportaciones comienzan a ser mayores que las importaciones. En el sector del cemento contar con buenas infraestructuras para el trasporte de material incide fuertemente en la estrategia logística. Además, el desarrollo del negocio varía notablemente con respecto a la localización de las plantas. Un ejemplo lo encontramos en la fábrica de Holcim en Yeles, la cual ha pasado exclusivamente a ser de molienda, mientras que la planta situada en Almería u otras situadas en lugares de costa, continúan fabricando cemento, derivado de la facilidad de transportar material por mar.

Es decir, si la elección es apostar por la importación, inevitablemente, este hecho debe acompañarse de una apuesta por la mejora y la nueva creación de infraestructuras productivas. Cuando se habla de desarrollo sostenible, normalmente se hace referencia a producción limpia, minimizando emisiones y cuidando el medio ambiente. Pues bien, esto también es desarrollo sostenible, en este caso del sector cementero, revirtiendo sobre comercio (interior y sobretodo exterior), turismo, y la creación de empleo.

5.- Conclusiones.

5.1.- Introducción.

Existe una serie de hechos indiscutibles, sobre los que se ha querido apoyar el desarrollo de este proyecto. Y es que, hay que cumplir y velar por el cuidado del medioambiente, y en consecuencia, con toda la legislación promulgada y que deriva de dicha actitud. Para ello, principalmente hay que minimizar las emisiones de agentes contaminantes, en especial de dióxido de carbono a la atmósfera, y reducir la alta dependencia de combustibles fósiles que tiene nuestro país, contribuyendo de esa forma a minimizar la incertidumbre de abastecimiento derivada de la situación que atraviesen los países productores de esos combustibles.

Entonces, se demuestra que el futuro de las actividades del sector cementero pasa por el desarrollo de la estrategia sostenible. Este desarrollo requiere una visión a largo plazo, y de una concienciación en conjunto, global y de responsabilidad, como ya se mencionó en otro capítulo, "de política de estado".

La industria debe así establecer su objetivo más esencial en la mejora de la calidad de vida de las personas, respetando sus necesidades y reduciendo el impacto con el ecosistema.

5.1.1.- Sostenibilidad y reducción de emisiones de CO_2.

La sostenibilidad en el sector del cemento (y en la mayoría de sectores industriales) debe cimentar el desarrollo entre los sistemas industriales y los ambientales, de cara a favorecer a las personas.

Así, se han identificado las siguientes líneas de actuación:

- Es necesario hacer compatible la fabricación de cemento con la protección del medioambiente.
- Hay que transmitir y enfocar a la sociedad las ventajas que aporta el sector del cemento. La principal ventaja, además del producto característico del sector, está en el tratamiento de residuos generados en otras actividades. Concretamente, apostando por la valorización energética de residuos, con el objetivo de generar una solución ecológica y segura a los problemas asociados a los mismos.

Dicho esto, la acción principal pasa por mejorar las instalaciones de fabricación. Los pilares básicos de esta mejora se demuestra que son: la gestión ambiental y de residuos, la modernización de equipos y tecnología, y el desarrollo de protocolos de protección del medio ambiente.

Para atacar las líneas de actuación descritas, se extraen las siguientes conclusiones:

El **rendimiento energético** de las instalaciones debe estar en continua mejora. En relación con esto, tras analizar el documento de las Mejores Técnicas Disponibles, se insta a ahondar más en determinados aspectos, y a exponer los procesos de una forma menos descriptiva. Se han detectado puntos en el documento de análisis que deben ser

mejorados. Hay que alcanzar una mayor concreción para que la aplicación de lo que se pretende transmitir sea correcta. Además, se considera necesario poner de manifiesto la relación existente entre los diferentes procesos descritos y los impactos que generan en el sistema productivo.

En cuanto a **valorización energética**, el objetivo debe situarse en el ahorro de combustibles fósiles no renovables, como el carbón y derivados del petróleo. La valorización, para ser una buena alternativa, debe ser flexible y económica. Esto implica una dinamización en la adquisición y uso de los residuos por parte de la industria en general. Para implementarlo se propone la creación de la "cadena de valor interempresarial". Esta cadena aspira a minimizar el desperdicio de residuos (salidas) de una determinada industria, aptos técnicamente para el uso como combustible (entradas) en otra industria.

De ambas conclusiones, ineludiblemente surge otra: hay que abordar nuevos escenarios de **financiación**. Atendiendo al estado (en volumen de negocio) del sector, se dedicó un capítulo íntegramente para indagar sobre las posibles opciones. Destacó el mecanismo de comercio de derechos de emisión de CO_2. Tras el análisis, se concluyó que el sector en su momento no aprovechó en buena medida las opciones derivadas de este comercio de emisiones, produciéndose así una descoordinación para con los objetivos de dicho plan de estímulo. Además de ser palpable cierta distorsión en el mercado por los motivos descritos en el capítulo correspondiente. Finalmente, se concluye que el comercio de derechos de emisión es ventajoso, pero siempre desde un punto de vista complementario, pues debe ser aprovechado por la industria para invertir en reingeniería de procesos e innovación.

5.2.- Otros aspectos por abordar.

Además de lo expuesto en este proyecto, hay dos campos que no se han tratado específicamente, pero que para posteriores estudios deben considerarse. Son los siguientes:

- La calidad del cemento producido como variable de competitividad y la relación con los procedimientos de control y de seguridad industrial.

- Desarrollo e investigación en nuevos productos para modificar la composición del cemento. Resulta interesante introducir en la fase de molienda otros materiales activos distintos del clínker. Este hecho está muy ligado con la valorización energética, ya que gracias a la misma se abren nuevas posibilidades de enriquecer adiciones, destacando el caso de las cenizas volantes de centrales térmicas, la escoria siderúrgica de altos hornos, etc.

5.3- Experiencia y aprendizaje.

Académicamente, en la realización de este proyecto, se han conseguido objetivos que merecen ser destacados.

En primer lugar, ha sido muy enriquecedor estudiar con cierta profundidad un sector productivo no tratado explícitamente en ninguna materia formativa de la carrera. Tras este proceso de estudio y recopilación de material bibliográfico, el objetivo académico se situó en reflexionar y proponer desde la perspectiva del Ingeniero Industrial. De ese modo, se intentó discernir y obtener conclusiones sobre el estado del sector del cemento en España y las perspectivas de futuro del mismo.

Esta titulación combina la formación multidisciplinar, esencial para vertebrar la idea principal de este Proyecto Fin de Carrera, abarcando campos como la gestión medioambiental, la discusión sobre reingeniería de procesos, la eficiencia energética, y la organización industrial.

Además de todos los instrumentos teóricos descritos, se ha intentando en la medida de lo posible complementar el proyecto con la experiencia adquirida en las prácticas profesionales desarrolladas durante la realización del mismo, así como en la visita a la fábrica cementera de Yeles, donde se pudo discutir y debatir ampliamente sobre diferentes hechos mencionados en este estudio.

6.- Referencias y bibliografía.

Referencias bibliográficas.

[1] LÓPEZ HUALDA, Alberto. "Emisiones de CO_2 en el sector industrial. Presente y futuro en España". Director: Fernando Soto Martos. Proyecto Final de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, 2011.

[2] *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de fabricación de cemento*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de calidad y evaluación ambiental Madrid: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, 2004.

[3] 2008 Anuario Oficemen. [Madrid]: Agrupación de Fabricantes de cemento de España, 2008. 52 p.

[4] 2008 Anuario Oficemen. [Madrid]: Agrupación de Fabricantes de cemento de España, 2009. 53 p.

[5] Procesos y técnicas aplicadas. En: Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de calidad y evaluación ambiental. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de fabricación de cemento. Madrid: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, 2004.

[6] MOLINA BAS, Omar. "La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón". Director: Jaime Gálvez Ruiz. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008

[7] RUIZ ROMÁN, J.M; ALONSO SANTOS, C.; CAMBRONERO, L.E.G; CORPAS, F.; ALFONSO, M.; MORAÑO, A.J. Aprovechamiento de las cenizas volantes, clase F, de centrales térmicas para la fabricación de materiales cerámicos. Responsabilidad secundaria. Título de la publicación seriada. Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Minas. Universidad de Jaén, E.U.P. de Linares. 28003 Madrid; 23700 Linares: 2000, Vol. 39, Núm. 2, 3.

[8] LORENZO GARCÍA, María Paz. "Influencia de dos tipos de cenizas volantes españolas en la microestructura y durabilidad de la pasta de cemento portland hidratado". Director: Sara Goñi Elizalde. Tesis doctoral. Instituto Eduardo Torroja, CSIC, 1993.

[9] Francisco Blanco Álvarez. Universidad de Oviedo. Escuela de Minas. "Lección 13, Lechos de mezcla, almacenamiento y prehomogenización".

Disponible en World Wide Web:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion13.CEMENTOS.Prehomogeneizacion.pdf>

[10] Otros: ThyssenKrupp. Catálogo [en línea]: *de la biblioteca*. <http://www.thyssenkrupp-resourcetechnologies.com/fileadmin/documents/brochures/Polysius1610_es.pdf >

(25-06-2013)

[11] Maynard Harold, B. *Manual de Ingeniería y organización industrial*. Primera Edición. Estados Unidos: editorial Reverté, 2010. 624 p. ISBN: 842912800X

[12] 2011 Anuario Oficemen. [Madrid]: Agrupación de Fabricantes de cemento de España, 2011. 96 p.

[13] Experiencia professional. France Telecom Spain S.A.U.

[14] CASTILLO NEIRA, Percy. *Manual práctico de combustión industrial*. Disponible en Web: <http://www.combustionindustrial.com/MANUAL_PRACTICO_DE_COMBUSTION_INDUSTRIAL.pdf>. (25-06-2013)

[15] Otros: Cardox International Limited. Catálogo [en línea]: *de la biblioteca*. <http://www.cardox.co.uk/spanish/pdfs/cardox_cemento.pdf> (25-06-2013)

[16] SORIA SANTAMARIA, F. Estado actual de la tecnología del cemento y su repercusión en la industria de los materiales refractarios. Madrid, 1976, 16 p.

[17] Hojas de datos de seguridad en materiales. Clínker de Cemento Portland Lafarge. Manual. Madrid: [s.n.], 2011. 8 p. Informe técnico Cementos Lafarge

[18] VARELA, Francisco, "El Juez imputa a Martínez Núñez y sus hijos en el fraude del clínker", La Voz de Galicia, 9-02-2013.

[19] BONAVETTI, V.L.; MENÉNDEZ, G.; DONZA, H.A.; RAHHAL, V.F.; IRASSAR, E.F. Cementos compuestos elaborados con puzolana natural y escoria granulada de alto horno. Materiales de construcción. Edición. Vol. 56, 283,25-36.

[21] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. 1992.

[22] Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. 1998.

[23] Unión Europea. DIRECTIVA 2003/87/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. Luxemburgo, 13 de octubre de 2003.

[24]<http://www.euroinmo.com/noticia/120211/MEDIO-AMBIENTE/Las-cementeras-emitieron-menos-CO2-del-asignado-en-2006.html> (25-06-2013)

[25] 2008 Informe de SendeCO2. [Madrid]: El comercio de derechos de emisión de CO2. Un año de experiencia de éxito. SendeCO2, 2005. 4 p.

[26]<http://www.invertia.com/noticias/articulo-final.asp?idNoticia=2857992&strGoo=emisiones-co-caen-ue-sube-excedente-derechos-emision&> (25-06-2013)

[27] Sistema Europeo de Comercios de Derechos de Emisión: Período 2013-2020. Medidas nacionales de aplicación en España. Informe preliminar. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Oficina Española del Cambio Climático. Junio 2012.

[28] SANTANA FERNANDEZ, Miguel. "Búsqueda y aplicaciones de combustibles alternativos para la industria cementera de la Comunidad Valenciana". Director: Ana María Mellado Romero. Trabajo Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandía, 2011.

Glosario de términos.

Integración vertical. Consiste en el aumento del número de procesos productivos realizados por una empresa.

Clínker. Sustancia resultante de la calcinación en un horno de mezclas de calizas arcillosas que se han preparado artificialmente con la inclusión eventual de otras materias.

Cadena de Valor. La Cadena de Valor es un modelo desarrollado por Michael E. Porter y representa el conjunto de actividades llevadas a cabo por una empresa que van desde la investigación y desarrollo al servicio de posventa. Este modelo es un instrumento esencial para el análisis de las ventajas competitivas de la empresa y para ayudar a encontrar maneras de aumentar estas mismas ventajas.

Sinterización. Consiste en producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo, generalmente metálicos, a los que se ha modelado por presión.

Nódulos. Concreción de poco volumen.

Pelletización. Se trata de un proceso de compactación de material leñoso con el objeto de obtener cilindros 3 a 7 cm de longitud, que favorecen su manipulación. Los cilindros debido a su pequeño tamaño se comportan como un fluido y pueden suministrarse en camiones cisterna con mangueras, cosa que disminuye los costos derivados del transporte y suministro.

Corrosión. Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

Cemento portland. El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétrea resistente y duradera denominada hormigón. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

Métodos multicriterio. El análisis multicriterio es un método que permite orientar la toma de decisiones a partir de varios criterios comunes. Este método se destina esencialmente a la comprensión y a la resolución de problemas de decisión. Se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas, por lo que puede emplearse en evaluación.

PCB. Los policlorobifenilos o bifenilos policlorados son una serie de compuestos organoclorados, que constituyen una familia de 209 congéneres, los cuales se forman mediante la cloración de diferentes posiciones del bifenilo. Existen 12 PCB llamados "de tipo dioxina" que también pueden ser tóxicos y no-tóxicos.

VOC. Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos. Los compuestos orgánicos volátiles, a veces llamados VOC (por sus siglas en inglés), o COV (por sus siglas en español), se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los COV son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural.

ANEXOS

ANEXO I: Tratamiento de aguas en la industria.

Las actividades productivas están sujetas a cambios en el entorno. No por ello hay que paralizar el desarrollo ni prescindir de la producción, todo lo contrario, es la ocasión de diseñar metodologías y sistemas cada vez más respetuosos con el Medio Ambiente.

Desde el punto de vista de la industria del cemento, el agua aparece en el proceso de fabricación. Así pues, es necesario contar con las instalaciones de depuración y tratamiento.

En el capítulo de procesos se afirma que a medida que el agua adquiere más protagonismo en el proceso productivo, éste se encarece. El objetivo de este anexo es detallar porqué se aumenta ese coste, y cómo debe afrontarse el cuidado del agua para su posterior reutilización y, en caso de no poder ser así, garantizar el menor impacto ambiental.

Para conocer las características de un vertido y su posible tratamiento, son variables a tener en cuenta las siguientes:

- Biodegradabilidad. Es la característica de determinados compuestos de ser utilizados por microorganismos como fuente de alimentación.
- Demanda teórica de oxígeno (DTO). Es la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto.
- Carbono orgánico total (COT). Es la cantidad total de carbono que tiene la materia orgánica presente en el agua.
- Demanda química de oxígeno (DQO). Es la cantidad de oxígeno que se necesitará para oxidar toda la materia orgánica presente en el agua.
- Demanda biológica de oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica existente de forma bioquímica aerobia.

La relación entre DBO y DQO indica el tipo de vertido y su posibilidad de depuración.

En relación con estas variables, entran en juego las siguientes técnicas de tratamiento de vertidos. Resulta interesante mencionarlas brevemente, aunque no se implementen específicamente todas en una fábrica cementera:

- Pretratamiento. Comprenden tratamientos físicos.
- Primarios. Comprenden tratamientos físico-químicos.
- Secundarios. Comprenden tratamientos biológicos.
- Terciarios. Tratamientos variados según las características del vertido.

Finalmente, como aspecto muy relacionado con la contaminación de las aguas destaca la contaminación del suelo. El suelo es el receptor y amortiguador de la contaminación, esto hace que muchos suelos del mundo se encuentren en un nivel avanzado de degradación, especialmente por contaminación química.

ANEXO II: Utilización de harinas cárnicas. Ventajas e inconvenientes. Relación con la cadena de valor interempresarial.

II.1.- Introducción.

Al estar extendido la utilización de neumáticos como residuos alternativos, existe bastante información sobre las ventajas e inconvenientes de su selección. De este modo, la pretensión es introducir un residuo novedoso que se presenta en nuestro país, y que ya lleva algunos años en cementeras de países europeos como Bélgica y Francia: se trata de las harinas cárnicas.

Este tipo de material nunca se utiliza como combustible primario, sino como adición al combustible principal, en un porcentaje máximo recomendable del 20% en peso de dicho combustible.

La caracterización del residuo es fundamentalmente orgánica, excepto los huesos que tienen carácter inorgánico.

La producción de harinas cárnicas en nuestro país engloba las 37.000 toneladas al año aproximadamente. Durante el despiece de los animales sacrificados y la obtención de residuos procedentes de los establecimientos de alimentación que abastecen al consumidor final, se obtienen dos grupos de residuos, donde se encuentran:

- Materiales específicos de riesgo (MER). Suelen ser vísceras que puedan contener el principio causante de la enfermedad conocida como el "mal de las vacas locas", es decir la enfermedad de encefalopatía espongiforme bovina.
- Restos de materiales como músculos, restos óseos, plumas, etc.

La idea principal reside en que en las plantas de producción de este tipo de harinas, se obtienen dos productos, las harinas cárnicas y las grasas extraídas durante la trituración. Estas últimas, se pueden seguir comercializando para pienso de animales, pero las harinas ya no pueden ser dedicadas a estas actividades, lo que se traduce en un gran excedente de recurso.

En un primer momento, esta solución tuvo una marcada componente social antes que económica. La alarma y el miedo de la población a la enfermedad bovina mencionada anteriormente, hizo que las administraciones prohibieran el uso de estas harinas en alimentación de animales destinados al consumo humano, y que por consiguiente, hubiese que buscar una solución para destruir estos productos. Es aquí donde apareció la industria cementera. Lo que en principio trataba simplemente de destrucción, pasó a convertirse en recurso primario para este tipo de industria que nada tiene que ver con el sector alimentario.

En relación con lo anterior, la característica principal de los hornos cementeros reside en su capacidad para destruir compuestos orgánicos.

II.2.- Harinas cárnicas como gestión de residuos.

En el reglamento de la Unión Europea por el cual se establece el uso de material de riesgo en relación con la Encefalopatía Espongiforme Transmisible *(decisión 2000/418/CE de la comisión europea, a fecha de 29 de Junio de 2000)*, se regulan los usos para tratar este tipo de materiales orgánicos de riesgo, los cuales son:

- Incineración directa
- Transformación en harinas para luego depositar en vertederos o incinerar en cementeras.

Una de las primeras opciones puesta en marcha en España fue la del uso de vertederos. Esta opción actualmente está prácticamente en desuso, por las razones que se detallan a continuación:

- La producción diaria de este tipo de harinas es muy grande, y el depósito de material orgánico de estas características constituye una fuente de aparición de roedores, moscas y demás insectos. Este hecho es perjudicial para la salud de las personas y para las condiciones de salubridad e higiene de una instalación de este tipo.
- La proliferación de olores, que se ven agravados por la fermentación que experimentan estos residuos en presencia de humedad y aumento de temperatura.
- El hecho de que este tipo de harinas se amontonen en un vertedero con o sin control, aumentan el riesgo de incendios, debido al carácter combustible cuando se den las condiciones físicas adecuadas.

II.3.- Control de impacto en la calidad del cemento.

Llegados a este punto, la solución es concreta y sencilla de implementar. Sin embargo, hay que delimitar los efectos asociados al uso de estas harinas en el cemento y definir si éstos son beneficiosos o por el contrario, perjudiciales. De material bibliográfico, se recoge lo siguiente:

- Es preciso fijar como límite de sustitución un 20%, para que las condiciones de combustión sean las idóneas.
- Hay que prestar atención a los efectos derivados de la lixiviación. Esto es, el poder que tienen los metales en el cemento para lixiviar hacia el medio ambiente una vez ha sido empleado en el proyecto de construcción o restauración. El porcentaje en metales de las harinas es muy inferior al de por ejemplo, el coque. De este hecho se afirma que la lixiviación es menor con este tipo de recurso alternativo.

II.4.- Conclusiones.

En primer lugar, existen estudios que demuestran que la calidad del cemento no resulta perjudicada con el uso de harinas cárnicas como material de apoyo a la alimentación del horno. [28]

En segundo lugar, la gestión y valorización de esta cadena de recursos (considerados desechos para el sector ganadero), reafirma la propuesta realizada en este proyecto sobre la cadena de valor interempresarial. El objetivo es fomentar la sustitución, valorización y comercialización de cualquier tipo de residuo apto para la producción de cemento, que provienen de diversa industrias, en este caso, de la industria ganadera.

ANEXO III: Emisiones de fuentes contaminantes. Justificación de la importancia del CO_2 en la creación de un mercado de derechos de emisión.

Existen muchas fuentes contaminantes en la producción de cemento. Estas, junto con los procesos de producción, pueden alterar atmósfera, agua y suelo. Ciertos aspectos referentes a esa afirmación se recogen en capítulos anteriores.

Sin embargo, esta parte del proyecto se centra sólo en las emisiones a la atmósfera, concretamente en lo que respecta al dióxido de carbono. Atendiendo a la cantidad de agentes contaminantes reflejados en la siguiente tabla, es preciso justificar la focalización en este agente contaminante para la creación de un mercado de emisión.

Resultado de la búsqueda:

Año de referencia: 2010
Comunidad autónoma: todas

Actividades: 3.- Industrias minerales
Categorías: 3.c.i.Fabricación de cemento o clínker en hornos rotatorios (capacidad superior a 500 t/d)
Emisiones:

Cantidad emitida por sustancia contaminante

Nombre	Atmósfera (t/año)	Agua directo (t/año)	Agua indirecto (t/año)	Suelo (t/año)
Amoniaco (NH3)	128,609	-	-	-
Benceno	7,817	-	-	-
Cadmio y compuestos (como Cd)	0,085	-	-	-
Cianuro de hidrógeno (HCN)	1,328	-	-	-
Cloro y compuestos inorgánicos (como HCl)	13,080	-	-	-
Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVNM)	183,000	-	-	-
Cromo y compuestos (como Cr)	0,180	-	-	-
Dióxido de carbono (CO2)	17.888.157,896	-	-	-
Ftalato de bis (2-etilhexilo) (DEHP)	0,848	-	-	-
Hidrocarburos aromáticos policíclicos totales PRTR (HAP totales PRTR)	1,351	-	-	-
Mercurio y compuestos (como Hg)	0,319	-	-	-
Monóxido de carbono (CO)	36.313,849	-	-	-
Níquel y compuestos (como Ni)	0,709	-	-	-
Óxido nitroso (N2O)	13,864	-	-	-
Óxidos de azufre (SOx/SO2)	4.833,222	-	-	-
Óxidos de nitrógeno (NOx/NO2)	35.136,570	-	-	-
Partículas (PM10)	342,048	-	-	-
Policlorobifenilos (PCB)	0,001	-	-	-
Total:	17.965.134,777	0	0	0

Figura 22. Emisiones de fuentes contaminantes. Cantidad emitida por sustancia. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.

Se observa que el 99% de las emisiones a la atmósfera son de dióxido de carbono, repartiéndose el resto de fuentes contaminantes en el 1% restante. No hay datos de emisiones en agua y suelo. Aunque la Figura 22 cita el año 2010, se ha comprobado la serie en la base de datos y la proporción es idéntica año tras año.

Este hecho cuantitativo, unido a que el CO_2 es el principal agente generador de lo denominado como efecto invernadero, explica la concreción en este agente contaminante, así como la creación de un mercado específico para el comercio de derechos sobre el mismo.

ANEXO IV: Evolución de las principales magnitudes en el sector del cemento.

Con el objetivo de complementar los datos y conclusiones obtenidas en el capítulo dedicado a los derechos de emisión, se muestra la siguiente figura. Contiene datos sobre las principales magnitudes del sector, como consumo, exportación e importación.

Evolución histórica de las principales magnitudes del sector cementero español *(Cifras en toneladas)*

Año	Producción de clínker	Producción de cemento	Exportación de cemento	Exportación de clínker	Importación de cemento (1)	Importación de clínker (1)	Consumo aparente de cemento (kg/habitante)	Consumo per capita (kg/habitante)	Consumo agregado per capita
Hasta 1972									7.727
1999	27.280.915	35.781.978	3.062.109	48.110	1.994.311	2.336.027	34.626.973	861	23.912
2000	27.840.499	38.115.621	2.120.998	38.783	2.372.476	2.735.028	38.438.638	949	24.861
2001	28.382.550	40.510.437	1.436.696	8.488	3.133.942	3.975.629	42.150.572	1.027	25.888
2002	29.357.596	42.387.660	1.417.564	33.971	3.173.833	4.649.365	44.119.801	1.068	26.956
2003	30.316.646	44.746.757	1.241.557	10.916	2.661.026	5.897.219	46.223.224	1.100	28.056
2004	30.798.002	46.593.482	1.517.609	6.910	2.570.612	6.266.470	48.005.531	1.124	29.181
2005	31.742.502	50.347.073	1.447.079		2.887.491	7.804.380	50.529.535	1.164	30.345
2006	32.078.063	54.048.270	1.126.854		3.164.435	9.587.594	55.896.387	1.268	31.614
2007	32.146.220	54.720.445	1.091.284		2.853.620	11.015.835	55.997.071	1.248	32.862
2008	27.304.551	42.083.407	1.349.799	985.396	1.743.867	5.440.339	42.695.536	936	33.798
2009	21.594.604	29.504.574	1.481.717	1.355.760	728.716	2.119.666	28.913.148	630	34.428
2010	21.207.202	26.161.660	2.528.346	1.364.414	654.311	1.087.184	24.456.014	531	34.958
2011	18.242.699	22.178.237	2.322.902	1.645.623	466.310	576.391	20.441.060	443	35.401

Figura 23. Evolución histórica de las principales magnitudes del sector cementero español. Oficemen.